Niveau(x) d'enseignement: 4 Numéro EDUQ : 8770497
Centre d'intérêt: 870

Labonté, Thérèse.

L'acquisition des concepts scientifiques sous-jacents à la formation technologique dans l'enseignement professionnel au secondaire. Tome II : psychopédagogie des objets techniques, méthode et concepts scientifiques / Thérèse Labonté. -- Québec : Direction générale de l'enseignement et de la recherche universitaires, 1986.
iv, 154 p. : ill. ; 28 cm.

Code: 7731-0112. Bibliogr. à la fin du v.

ISBN 2-550-16319-2

Vedette(s)-secondaire(s): Québec (Province) Direction générale de l'enseignement et de la recherche universitaires

Descripteur(s): Enseignement professionnel * Formation professionnelle * Méthode d'apprentissage * Méthode expérimentale * Théorie de l'apprentissage * Technologie * Psychopédagogie * Revue de la documentation * Méthode expérimentale * Concept * Secondaire (Ordre d'enseignement)

Identificateur(s) de sujet: Objet technique

Dans ce second tome, qui comprend deux chapitres, l'auteure a choisi de donner la priorité aux études relatives à la psychopédagogie des objets techniques. Elle rapporte tout d'abord quelques réflexions sur l'analyse de l'objet technique et de ses relations avec l'action technique ainsi que l'essentiel de deux expériences - l'une menée au Québec, l'autre en France - visant à faire saisir la structure et les principes de fonctionnement de divers objets techniques. Suit le résumé d'études sur l'enseignement de l'électronique et le raisonnement technique. Enfin l'auteure donne quelques exemples de travaux concernant l'analyse des conduites ou du raisonnement de l'élève, lors du maniement d'objets techniques ou lors de la résolution de problèmes qui y sont liés. Dans le second chapitre, elle examine les traits distinctifs et les ressemblances de la démarche scientifique, de la pensée technique et de la pensée commune ainsi que les particularités de la démarche expérimentale. Elle s'interroge sur les qualités que doivent revêtir les expérimentations dans l'enseignement professionnel et sur les moyens pédagogiques qui favorisent l'initiation à la méthode expérimentale.

Type de document: r
Notice(s) connexe(s): 8570702

EDUQ 8770497 B

L'ACQUISITION DES CONCEPTS SCIENTIFIQUES SOUS-JACENTS À LA FORMATION TECHNOLOGIQUE DANS L'ENSEIGNEMENT PROFESSIONNEL AU SECONDAIRE

Tome II

Québec

EDUQ 8770497E

L'ACQUISITION DES CONCEPTS SCIENTIFIQUES SOUS-JACENTS À LA FORMATION TECHNOLOGIQUE DANS L'ENSEIGNEMENT PROFESSIONNEL AU SECONDAIRE

Tome II

PSYCHOPÉDAGOGIE DES OBJETS TECHNIQUES, MÉTHODE ET CONCEPTS SCIENTIFIQUES

Thérèse Labonté

Direction générale de l'enseignement et de la recherche universitaire

Avril 1986

Ce document est disponible sur demande. On peut l'obtenir en écrivant à l'adresse suivante:

Madame Thérèse Labonté
Direction générale de l'enseignement
et de la recherche universitaires
Ministère de l'Enseignement supérieur
et de la Science
1033, De La Chevrotière
Edifice "G", 20e étage
Québec, QC
G1R 5K9

© Gouvernement du Québec

Dépôt légal: deuxième trimestre 1986
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

ISBN: 2-550-16319-2

L'acquisition des concepts scientifiques sous-jacents
à la formation technologique dans l'enseignement
professionnel au secondaire

Tome II

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
AVANT-PROPOS	I
CHAPITRE QUATRIÈME: PSYCHOPÉDAGOGIE DES OBJETS TECHNIQUES ET ACQUISITION DE CONCEPTS SCIENTIFIQUES	
Introduction	1
A. Études relatives à la psychopédagogie des objets techniques	
1. Quelques réflexions sur l'analyse de l'objet technique et de ses relations avec l'action technique	2
a) L'objet et l'action techniques en tant que systèmes	3
b) L'action et l'objet techniques: des ensembles logiques qui doivent tenir compte des lois de la nature	5
2. Une recherche sur l'intégration des sciences physiques à l'enseignement relatif aux objets techniques	
a) Élaboration de deux modules: système de refroidissement et soudage à l'arc au tungstène	7
b) Des cours de sciences physiques intégrant l'objet technique	13

Pages

3. Une recherche visant à faire saisir la structure et le fonctionnement d'un moteur 23

a) Problématique et hypothèses de base 24

b) La technique et le matériel didactique 30

c) Observations et résultats 33

4. Une étude sur l'enseignement de l'électronique élémentaire

a) Définition et distinctions relatives aux objets techniques 35

b) Assimilation des propriétés des objets techniques 38

B. Études sur l'analyse des conduites et du raisonnement de l'élève dans des circonstances diverses

1. Raisonnement technique et acquisition de connaissances scientifiques: relations dégagées à partir d'un problème sur l'électronique 44

a) Description de l'expérience 45

b) Les conduites attendues sur le plan psychologique 46

c) L'acquisition des connaissances scientifiques 48

2. "Le raisonnement séquentiel en électrocinétique"

a) Objectif et hypothèse 50

Pages

b) Raisonnement "séquentiel" et description physique élémentaire d'un circuit 51

c) Méthodologie 53

d) Quelques résultats 55

e) Quelques applications pédagogiques 55

3. Analyse de la conduite de l'élève lors du montage d'un levier 57

a) Quelques notions théoriques 58

b) La nature de la tâche, le matériel et la description de l'expérience 59

c) Quelques aspects de la tâche en cause et principaux résultats 61

4. Analyse de la conduite lors de l'apprentissage du maniement d'un oscilloscope

a) Conduite de départ 65

b) Conduite au cours de la séance 66

Conclusion 66

Pages

CHAPITRE CINQUIÈME: Méthode scientifique et formation professionnelle

Introduction 69

A. Caractéristiques de la démarche scientifique, de la pensée technique et de la pensée commune

1. La démarche scientifique

a) Description générale 70

b) Quelques caractéristiques de la connaissance scientifique 72

c) La démarche scientifique et l'enseignement professionnel 74

2. La pensée technique

a) Les caractéristiques de la pensée technique 74

b) Les deux versants de la technologie 75

3. La pensée commune 76

B. Importance de la démarche expérimentale dans l'enseignement professionnel, exemples-types et particularités de cette démarche

1. Importance de la démarche expérimentale

Pages

2. Schéma d'une expérimentation bien conduite, exemples-types et particularités de la démarche expérimentale

a) En quoi consiste une expérimentation bien conduite 78

b) Exemples-types de démarche expérimentale 79

c) Quelques opérations mentales solidaires de la démarche expérimentale 81

d) Quelques qualités des expérimentations dans l'enseignement professionnel 81

C. Champs d'application de la méthode expérimentale ou de certains de ses éléments 82

1. La construction des objets techniques 83

a) La résistance des matériaux 83

b) Les traitements thermiques 83

c) Les solutions relatives à une même fonction 83

d) Les essais de prototypes 84

2. L'usinage ou le travail des machines 84

3. Les méthodes de travail 85

4. Le diagnostic 86

a) Un processus de diagnostic: description générale 86

Pages

b) Un exemple tiré d'un manuel 86

c) Quelques catégories de réparateurs devant effectuer des diagnostics 88

5. Les problèmes généraux liés à la gestion de l'entreprise 89

a) Origines et fondements du mouvement "Quality of Work Life" 90

b) Quelques implications pédagogiques du nouveau modèle de gestion 92

D. Le diagnostic de pannes et ses relations avec le diagnostic médical

1. Quelques ressemblances, a priori, du diagnostic médical et du diagnostic de pannes de voitures 94

a) Similitude de la structure de départ des problèmes à résoudre 94

b) Recours à un examen et à un entretien avec le client 94

2. Les habiletés cliniques 95

a) Diversité des approches utilisées pour décrire ces habiletés 95

b) Quelques descriptions et caractéristiques 96

c) Conseils pédagogiques et axes de recherche 104

Pages

Conclusion 118

SOMMAIRE ET RECOMMANDATIONS 121

Bibliographie 133

ANNEXES 137

AVANT-PROPOS

En janvier 1986, l'Association des cadres scolaires du Québec tenait un colloque sur la formation professionnelle des jeunes et des adultes. Monsieur Claude Ryan, ministre de l'Éducation, de l'Enseignement supérieur et de la Science, y affirmait son intérêt pour les délibérations en cours et y énonçait certaines dimensions à "examiner de près"[1]. Parmi celles-ci figuraient "le recyclage, le perfectionnement et le renouvellement du personnel enseignant en fonction des besoins nouveaux, nés des changements technologiques et économiques"[2]. Se situant sur un plan plus général, monsieur Ryan énonçait, d'autre part, le désir que les politiques gouvernementales sur l'éducation traduisent "des consensus larges et réalistes, atteints à la faveur d'une recherche objective et impartiale et sous l'éclairage d'un débat public ouvert et démocratique"[3].

Or, c'est précisément dans cet esprit que se poursuivent depuis déjà quelques années, dans le cadre du programme de perfectionnement des maîtres de l'enseignement professionnel, les recherches et études sur l'acquisition des concepts scientifiques dans l'enseignement professionnel au secondaire. L'auteur de ces lignes a reçu le mandat, il y a deux ans environ, d'effectuer une synthèse des recherches effectuées sur ce thème au Québec et ailleurs. Ce travail a permis, depuis mai dernier la diffusion d'un ouvrage intitulé "L'acquisition des concepts scientifiques sous-jacents à la formation technologique dans l'enseignement profes-

---

1. Ryan Claude, Allocution de Claude Ryan, ministre de l'Éducation, à la séance d'ouverture du carrefour '86 sur la formation professionnelle des jeunes et des adultes, tenu par l'Association des cadres scolaires du Québec, Québec, ministère de l'Éducation, janvier 1986, p. 10.
2. Idem, p. 11.
3. Idem, p. 2.

sionnel au secondaire" et la préparation du document que voici, qui en constitue le deuxième tome. L'élaboration de ces rapports a donné lieu à diverses consultations ainsi qu'à l'animation d'ateliers aux deux derniers colloques sur la recherche en formation professionnelle et au 20e congrès de l'Association des professeurs de sciences du Québec en octobre 1985.

Qu'on nous permette de le rappeler, ces ouvrages et débats avaient pour but de susciter la réflexion sur les questions suivantes: Quelle doit être la formation scientifique des élèves de l'enseignement professionnel au secondaire? Quelle forme doit-elle revêtir? Comment l'élève peut-il l'acquérir? On aura sans doute saisi tout de suite l'importance de ces questions eu égard à la formation ou au perfectionnement des maîtres de l'enseignement professionnel.

Le premier tome de ce travail comportait des synthèses de divers types. Il fallait en effet coordonner les résultats de plusieurs genres de recherches afin de définir et de poser le problème dans son contexte. Surgissait ensuite la question du contenu scientifique à proposer aux jeunes. Ce sujet a nécessité la comparaison des résultats de plusieurs études. Une autre forme de synthèse consistait à mettre en évidence les liens entre théories du développement et de l'apprentissage et certaines démarches pédagogiques susceptibles de favoriser l'acquisition des concepts; ce travail devait fournir un cadre de référence à l'interprétation des fondements de diverses recherches sur la didactique, qui seraient présentées dans la suite du travail.

Dans la présentation de ces travaux, nous avons choisi de donner la priorité aux études relatives à la psychopédagogie des objets techniques, dont la connaissance constitue un élément majeur de la formation professionnelle. Manifestée ou préconisée dans certains processus d'apprentissage relatifs aux objets techniques, l'importance de l'induction, d'une démarche hypothético-déductive et d'une vérification des hypothèses a amené à poser le problème plus général de l'initiation à la méthode expérimentale dans l'enseignement professionnel, ce qui constitue l'objet du cinquième chapitre. Celui-ci fait allusion, en particulier, à

la nécessité d'initier les jeunes à un mode de gestion participative, requérant chez tous la capacité de résoudre des problèmes en suivant une démarche analogue à la méthode expérimentale. Cette question rejoint, on peut le penser, l'une des préoccupations mentionnées par monsieur Robert Bourassa, premier ministre du Québec, dans son ouvrage intitulé Le défi technologique; celui-ci insiste notamment sur la nécessité d'"élaborer des programmes de formation et de recyclage adaptés aux besoins de nos travailleurs"[4] et évoque l'avènement d'une nouvelle culture d'organisation[5].

L'importance que présente, pour les enseignants, la diffusion des résultats des travaux de didactique n'a plus à être démontrée; monsieur J. P. Chevènement, ministre français de l'Éducation nationale de juillet 1984 à mars 1986, en soulignait en particulier l'intérêt pour les professeurs qui ont reçu une excellente formation dans leur discipline[6], ce qui est par exemple le cas des ingénieurs et docteurs de physique engagés dans le PPMEP.

Ce travail, bien qu'ayant été entièrement conçu et rédigé par l'auteure, est néanmoins le fruit de nombreux encouragements et d'une vaste collaboration en ce qui concerne par exemple la réunion des documents à la base de ce travail. C'est ainsi qu'il nous faut remercier particulièrement monsieur J. M. Braemer, des missions académiques à la formation des personnels de l'éducation en France, monsieur R. Martin, professeur à l'université Lyon II, monsieur Serge Billaud, du collège Chartreuse en France, monsieur P. Vermersch, psychologue français, monsieur Jacques Dubé, du ministère de l'Éducation de la République des Philippines et ex-conseiller technique au Bureau des stages du ministère de l'Éducation, monsieur J. Gradwell, de l'université McGill, monsieur

---

4. Bourassa Robert, Le défi technologique, Montréal, Édition Québec/Amérique, 1985, p. 144.

5. Idem, p. 35.

6. Chevènement J.P., Apprendre pour entreprendre, Paris, Le livre de Poche, 1985, p. 62.

Louis R. Joyal, de l'université du Québec à Trois-Rivières, monsieur A. Beaudet, de la Direction générale de l'éducation des adultes, monsieur Yvan Pelchat, du PPMEP, messieurs Fernand Paquette et Blaise Datey, du Service de la coopération internationale, monsieur Robert Frigon, du Service des stages, monsieur J.P. Broudehoux, ex-directeur de la Direction de la recherche au ministère de l'Éducation du Québec et directeur de la Direction des affaires académiques, monsieur Robert Thibaudeau, du Service de la formation du personnel de l'enseignement et surtout monsieur Louis R. Pelletier, directeur du Service de la formation du personnel de l'enseignement au ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science.

Dans l'état actuel, nous estimons que ce travail n'est pas terminé. Il devrait être complété par un troisième tome relatif aux diverses méthodes susceptibles de favoriser l'acquisition de la méthode expérimentale et des concepts scientifiques que peut requérir la formation professionnelle.

CHAPITRE QUATRIÈME

PSYCHOPÉDAGOGIE DES OBJETS TECHNIQUES ET ACQUISITION DE CONCEPTS SCIENTIFIQUES

> "Autrefois, l'apprentissage pouvait se réduire à la transmission d'un savoir organisé et stable d'habitudes gestuelles éprouvées par des générations; maintenant il doit s'élargir pour permettre de comprendre le fonctionnement de nouveaux appareils et de les utiliser".
>
> M. Postic

Comme le soulignait Marcel Postic, il y a déjà une quinzaine d'années, l'enseignement technique peut confronter à deux types principaux de situations[1]. Il peut s'agir en effet de comprendre la structure et le mode de fonctionnement d'un objet technique afin de pouvoir l'installer, le maintenir en bon état, etc. Il peut s'agir aussi de trouver la solution d'un problème technique en sélectionnant ou en créant les appareils ou les dispositifs appropriés.

Dans ce dernier cas, le point de départ est une idée; on va de l'abstrait vers le concret, c'est-à-dire l'utilisation ou la création d'un objet technique. Dans le premier, on part de l'examen de l'objet pour s'acheminer vers une explication. Aussi est-il nécessaire d'entraîner les élèves à "ce jeu mental qui va du concret à l'abstrait, de l'analyse à la synthèse, de l'intuition au raisonnement méthodique à partir de situations matérielles qui provoquent la naissance ou l'utilisation de l'objet technique"[2].

Puisque notre travail est orienté vers l'acquisition de concepts scientifiques, il sera surtout question, dans ce chapitre, du premier type de situation mentionné ci-dessus, l'autre pouvant exiger, ce-

---

1, 2. Postic Marcel, Introduction à la pédagogie des enseignements techniques, Paris, Foucher, 1971, p. 21.

pendant, l'application de concepts scientifiques déjà maîtrisés. Nous rapporterons tout d'abord quelques réflexions d'André Chamard sur l'analyse des objets techniques et leurs relations avec l'objet technique ainsi que l'essentiel de deux expériences - l'une menée au Québec, l'autre en France - visant à faire saisir la structure et les principes de fonctionnement de divers objets techniques. Viendra ensuite le résumé d'études sur l'enseignement de l'électronique et le raisonnement technique, effectuées par B. Gillet. Celui-ci insiste notamment sur l'importance de hiérarchiser les objets techniques.

Certains travaux concernent l'analyse des conduites ou du raisonnement de l'élève, lors du montage ou du maniement d'objets techniques, soit lors de la résolution de problèmes qui y sont liés. Nous en donnerons quelques exemples tirés de divers auteurs.

Il ne nous paraît pas nécessaire que les études présentées ici aient été effectuées dans des établissements d'enseignement secondaire. Il suffit, nous semble-t-il, que le sujet dont elles traitent figure au programme du secteur professionnel au secondaire et qu'elles concernent au moins en partie ou implicitement les concepts scientifiques sous-jacents aux objets techniques.

A. Études relatives à la psychopédagogie des objets techniques

1. Quelques réflexions sur l'analyse de l'objet technique et de ses relations avec l'action technique

Pour analyser l'objet technique et l'action technique, on peut recourir à la notion de système. L'industrie ayant largement répandu ce mode d'analyse, il convient d'en tracer ici les grandes lignes.

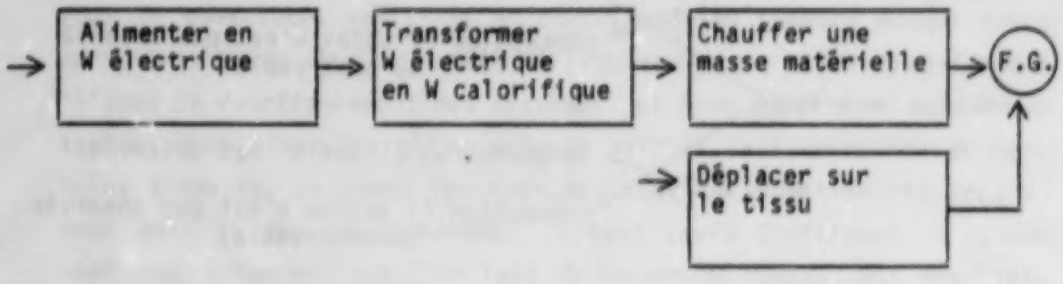
À titre d'exemple, nous rapporterons quelques éléments d'une étude parue dans la revue L'ingénieur et le technicien de l'enseignement technique, sous la plume d'André Chamard.

a) L'objet et l'action techniques en tant que systèmes

Les définitions de la notion de système sont nombreuses. Pour sa part, André Chamard a choisi la suivante, qui lui semble la plus commode: "Un système est un ensemble de parties coordonnées en vue d'atteindre un ensemble d'objectifs".

Un système comporte, autrement dit, des parties ou éléments interdépendants, organisés de façon à obtenir un résultat. La structure d'un système est constituée par les relations existant entre ses parties ou éléments alors que son fonctionnement "se définit par l'ordre dans lequel sont mises en jeu les fonctions des éléments"[3].

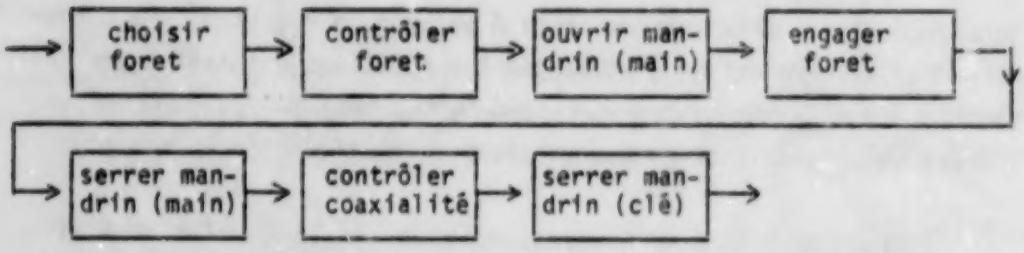
Or, les objets techniques, du plus simple au plus sophistiqué, sont constitués d'un ensemble de parties coordonnées en vue d'une fin. Ils sont donc des systèmes, que l'on peut considérer sous les angles organique ou fonctionnel. On peut représenter ces systèmes de diverses façons, notamment sous forme de diagrammes. À titre d'exemple, voici, tiré d'un article de Chamard[4], le "diagramme fonctionnel" d'un fer à repasser.



3. Chamard André, Pour une didactique de l'action technique, utiliser la notion de système, L'ingénieur et le technicien de l'enseignement technique, 11-12, 1975, pp. 22-23.

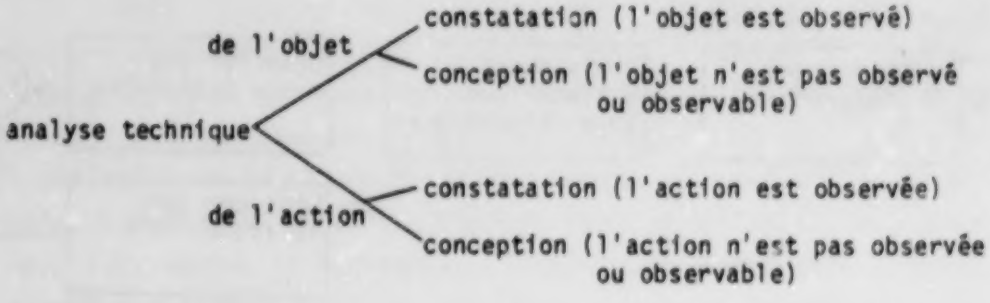
4. Idem p. 24.

De même, l'action technique est un système puisqu'elle poursuit toujours un but et correspond à "un ensemble de parties coordonnées et organisées à partir de règles de contraintes dûment établies (géométriques, techniques, économiques...)"[5]. Un schéma peut illustrer un élément d'une action technique, par exemple le montage du foret:



Tiré de André Chamard, l'Ingénieur et le Technicien, 1-2, 1976, p. 34

La notion de système permet donc d'englober dans une même approche l'action technique et l'objet technique, comme le fait bien voir le schéma suivant, issu de la même source[6] que précédemment:



L'objet technique et l'action technique sont tous deux des systèmes fonctionnels "l'un et l'autre établissant une relation entre les deux états caractéristiques que connaît la matière d'oeuvre"[7].

---

5. Chamard André, Pour une didactique de l'action technique, utiliser la notion de système, 2e partie. L'ingénieur et le technicien de l'enseignement technique, 1-2, 1976, p. 34.

6, 7. Idem, p. 35.

Se référant à J. Chabal, Chamard considère la matière d'oeuvre comme "la partie de l'environnement physique sur laquelle l'objet technique isolé est destiné à agir"[8].

b) L'action et l'objet techniques: des ensembles logiques qui doivent tenir compte des lois de la nature

À l'instar de l'objet technique, qui constitue un ensemble logique, l'action technique peut être considérée comme une action logique. En effet, elle doit toujours être orientée vers un objectif et "pour des raisons d'économie générale (notamment énergétique)", toujours obéir "au principe de moindre action"[9].

Si l'action technique est une action logique, son analyse en vue de l'apprentissage peut se traduire par un "algorithme". Ainsi Chamard établit-il l'algorithme de l'action de réparation* et les sous-algorithmes qui y correspondent. "Le réparateur, précise-t-il agit sur la structure d'un système technique afin d'en rétablir la logique"[10].

Dans l'article intitulé Enseigner l'action de réparation, sous le sous-titre Ambitions et contraintes[11], Chamard évoque trois caractéristiques des activités de réparation. Elles transforment "l'état de fonctionnement des systèmes" et font appel pour cela à des technologies diverses, elles exigent parfois la fabrication de certains éléments, et comme les systèmes sont en évolution, le réparateur doit suivre le mouvement. Citant Louis Couffignal, l'auteur mentionne notamment que "les lois de la nature constituent des limi-

---

8. Voir la référence 3, p. 24.

9. Voir la référence 5, p. 35.

10, 11. Chamard A. et coll., Pour une didactique de l'action technique - Enseigner l'action de réparation, L'ingénieur et le technicien de l'enseignement technique, 5-6-1977, p. 33.

* Pour plus de précisions sur cet "algorithme", voir, la page 86 du chapitre cinquième. Le mot algorithme semble avoir ici un sens plus large qu'en mathématiques.

tes que doit respecter l'imagination créatrice de l'homme dans l'élaboration de programmes d'actions"[12]. Cette idée rejoint la pensée de H. Gériat, qui, en 1963, écrivait ce qui suit dans Le cours industriel:

> "... la technologie se doit d'enseigner comment faire collaborer entre elles les lois scientifiques dans le fonctionnement de l'objet technique. Elle doit apprendre à l'étudiant comment établir une dialectique entre la réflexion sur les fonctions techniques à réaliser et la réflexion sur la manière d'utiliser les lois scientifiques."[13]

Conçu dans cette perspective, l'enseignement de la technologie contribuerait à faire acquérir la culture technique, que l'exministre français de l'Éducation nationale, J.-P. Chevènement définissait récemment comme étant "la maîtrise des savoirs(...) déposés dans les objets ou dans les métiers"[14].

Il s'agit là, commente-t-il d'une "belle définition qui consiste à partir des objets et des métiers pour remonter à la connaissance des systèmes techniques et, au-delà, à la connaissance des lois de la nature"[15]. Vu son caractère inductif, cette démarche serait plus apte à exciter la curiosité de certains jeunes et "peut-être mieux adaptée", souligne M. Chevènement, à leur état d'esprit[16].

Voyons dès maintenant en quoi peuvent consister des expériences recourant précisément à une démarche inductive.

---

12. Couffignal Louis, La Cibernétique, Paris, P.U.F., 1972, 4e édition, p. 72, cité par Chamard, op. cit. 5-6-1977, p. 33.

13. Gériat H., Les démarches de la pensée technique, Le cours industriel, no 3, décembre 1963, cité par Postic, op. cit, p. 26.

14, 15, 16. Chevènement Jean-Pierre, Le pari sur l'intelligence, Paris, Flammarion, 1985, p. 153.

2. Une recherche sur l'intégration des sciences physiques à l'enseignement relatif aux objets techniques

Depuis quelques années déjà, l'université du Québec à Chicoutimi poursuit divers efforts en vue d'insérer des notions de sciences dans l'enseignement professionnel. En octobre 1985, une équipe de recherche du Programme de perfectionnement des maîtres de l'enseignement professionnel a publié le quatrième volet de son rapport intitulé Intégration de notions de sciences physiques de base au contenu technique en équipement motorisé et en hydrothermie[17].

Affirmant qu'il est "souhaitable, sinon nécessaire d'enseigner ou de rappeler aux élèves les principes scientifiques sur lesquels s'appuie le fonctionnement des objets techniques qu'ils ont à étudier", cette équipe mène de front deux actions complémentaires. Elle prépare d'une part, une série de cours de sciences qui sont donnés à intervalles réguliers aux élèves de mécanique diésel II. D'autre part, elle construit du matériel didactique visant à intégrer notions et principes scientifiques aux programmes d'hydrothermie et d'équipement motorisé[18].

Ces cours et ce matériel ont permis l'expérimentation de nouvelles stratégies d'enseignement.

a) Élaboration de deux modules: système de refroidissement et soudage à l'arc au tungstène

- Objectifs

Dans le cadre de ses travaux, l'équipe de recherche de Chicoutimi a créé un modèle devant guider l'insertion de notions scientifi-

---

17. St-Laurent Rodrigue, Fortin Marc et coll., Intégration de notions de sciences physiques de base au contenu technique en équipement motorisé et en hydrothermie, Chicoutimi, UQAC, rapport 4, octobre 1985, 157 pages.

18. Idem p. 2.

ques dans deux modules d'enseignement: les systèmes de refroidissement et le soudage à l'arc au tungstène. Cette action vise en même temps la poursuite d'un objectif plus global: l'enrichissement des programmes à partir d'éléments transférables de formation.

- Genèse de la recherche

Ce travail s'inspirait notamment des études de Hörner[19] et de Bolduc et Breton. De la première, les chercheurs ont retenu l'idée que les relations des techniques et des sciences dans la société moderne intéresseraient les élèves en général. Ils ont pensé que, pareillement, dans l'enseignement professionnel, les notions scientifiques susciteraient de l'intérêt si l'on faisait ressortir leurs relations avec les objets techniques rencontrés dans l'exercice de leur métier[20].

La seconde étude, publiée en 1981 par la Direction générale du développement pédagogique[21] se proposait de caractériser les élèves de l'enseignement professionnel au secondaire. Elle faisait ressortir que ces élèves ont "l'esprit davantage pratique et inductif que théorique ou spéculatif"[22]. L'équipe de recherche a donc eu plutôt recours à l'induction qu'à la déduction dans son projet d'intégration des notions scientifiques au programme d'hydrothermie et d'équipement motorisé[23].

---

19. Horner W., Éducation technique et culture scolaire: une relation difficile. L'exemple français, Revue des sciences de l'éducation, Vol. VI, no 3, aut. 1980, pp. 473-486.

20. Voir la référence 17, p. 37.

21. Bolduc G. et Breton E., La formation professionnelle des jeunes en difficulté, Direction générale du développement pédagogique, Gouvernement du Québec, 1981.

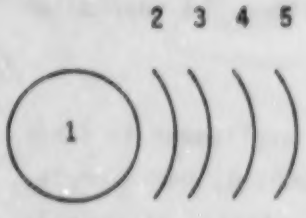
22, 23. St-Laurent Rodrigue, Fortin Marc et coll., Intégration de base au contenu technique en équipement motorisé et en hydrothermie, Chicoutimi, op. cit., p. 37.

Les chercheurs ont aussi puisé dans leur propre expérience. Celle-ci leur avait permis de constater que les objets techniques liés l'exercice du métier constituaient pour les élèves le principal sujet d'intérêt[24]. Le modèle qu'ils mettront au point aura donc comme élément central l'objet technique, auquel se rattacheront des notions scientifiques présentées grâce à une méthode inductive.

- Méthode

. Description schématisée

En quoi consiste cette méthode inductive utilisée par les chercheurs? Il s'agit de partir du concret, c'est-à-dire de l'objet technique, pour aller vers l'abstrait, en l'occurrence les notions scientifiques. Cette méthode peut être schématisée par un cercle représentant l'objet technique entouré de quatre cercles concentriques dont les numéros correspondraient aux mentions suivantes:



2. Les composantes de l'objet
3. Les éléments de chaque composante
4. Les principes et concepts scientifiques sous-jacents au fonctionnement de chaque élément
5. Les interrelations des principes en cause, expliquant le fonctionnement global de la composante[25]

- Étapes de la méthode, matériel didactique et exemples

Il importe de bien saisir comment l'on a utilisé ce modèle. L'exemple rapporté ici concerne les systèmes de refroidissement. La

---

24. Idem, p. 38.

25. Idem, p. 39.

page 138, tirée du rapport de l'équipe de recherche de Chicoutimi, présente à l'aide d'un schéma et d'un tableau, les composantes et éléments de ces systèmes.

. Les étapes de la méthode

La méthode d'enseignement comporte les étapes suivantes:

1. Présentation de l'objet technique à l'aide d'un transparent projeté sur écran. (En l'occurrence, il s'agit de l'acétate 1.1, que l'on peut retrouver en annexe, p. 138).

2. Énumération des composantes de l'objet en cause. Il s'agit ici du moteur, du radiateur et de l'antigel.

3. Étude des éléments et de la fonction de l'une des composantes. Dans le cas du moteur, les éléments constitutifs sont les suivants: le thermomètre, la pompe, le ventilateur, le thermostat et le bloc.

4. Étude des principes et concepts scientifiques expliquant le fonctionnement de chaque élément. Pour le thermomètre, par exemple, on fera appel aux notions de chaleur, de dilatation et pour la pompe à la notion de pression.

5. Explication du fonctionnement global de la composante à l'étude; cette explication mettra en relation principes et concepts scientifiques.

6. Reprise des trois étapes précédentes pour chacune des composantes.

7. Évaluation des acquisitions des élèves en ce qui concerne les principes et concepts scientifiques expliquant le fonctionnement de l'objet technique[26].

---

26. Idem, pp. 39-40 et 50-51.

Cette stratégie d'enseignement a été utilisée dans deux classes du secondaire, dans le cadre des cours en équipement motorisé et en hydrothermie[27]. De fait, le professeur a eu recours à tout un ensemble de matériel, préparé à l'avance.

- Le matériel didactique

Le matériel didactique est constitué de transparents ("acétates") que le professeur utilise lui-même en classe à l'aide d'un rétro-projecteur[28]. On peut classer ces documents en deux catégories:

1. Les transparents illustrant les objets techniques, propres à faire saisir l'organisation et le fonctionnement de ces objets.

2. Les transparents relatifs aux principes et concepts scientifiques, qui peuvent s'intégrer à divers cours et à divers programmes.

Une quarantaine de transparents ont déjà été préparés, soit par les enseignants de l'école secondaire, soit par les professeurs de l'équipe universitaire. On peut trouver en annexe quelques exemples de ces transparents (voir les pages 138-142).

Lors de l'étude de l'objet technique, de l'une de ses composantes ou de l'un de ses éléments, le professeur présente de prime abord le transparent qui y correspond. Il énumère ensuite les principes scientifiques sous-jacents au fonctionnement de la composante et fait voir les transparents relatifs à ces principes (par exemple ceux qui concernent la pression et la propagation de la chaleur dans le cas du moteur, voir exemples en annexe pp. 140, 141 et 142).

---

27. Idem, p. 51.

28. Idem, pp. 43-50.

Lorsqu'il projette ces documents, le professeur explique les notions et principes scientifiques et leur relation avec la composante à l'étude. Grâce à "un mouvement de va-et-vient" entre la composante et le concept scientifique, il amène les élèves "à saisir la signification du concept et à comprendre le fonctionnement de la composante"[29]. Cette démarche est reprise jusqu'à ce que l'ensemble de l'objet technique soit étudié.

- Évaluation et résultats

. Mode d'évaluation

Deux aspects de cette expérience ont été l'objet d'une évaluation: la démarche du professeur et le savoir des élèves.

Pour évaluer la méthode utilisée par le professeur, on a eu recours à l'observation directe et à l'observation indirecte. Autrement dit, les chercheurs ont observé le déroulement de la classe et visionné les enregistrements sur bandes magnétoscopiques de l'utilisation du matériel.

Les acquisitions des élèves ont été examinées à l'aide d'un questionnaire gradué "présenté à titre de post-test"[30]. Voici quelques exemples des dix questions posées par rapport aux systèmes de refroidissement.

"Quel est l'effet sur le volume du bloc-moteur de la quantité d'énergie thermique causée par la combustion du mélange?"

"Explique le rapport entre le circuit de dérivation et le thermostat?"

---

29. Idem, p. 52.

30. Idem, p. 55.

"Qu'est-ce qui produit une pression à la sortie de la pompe à eau dans le liquide?[31]"

. Résultats

En ce qui concerne la démarche suivie, on a noté que l'introduction de notions scientifiques liées à l'objet technique donnait aux élèves l'impression qu'ils approfondissaient la matière; leur intérêt pour l'objet technique n'en était pas amoindri.

Cependant, si l'on utilisait des transparents pendant plus de trente minutes, on observait une diminution de l'attention. On tentera donc, dans l'avenir de diversifier le matériel didactique.

En analysant les réponses au questionnaire, les chercheurs se sont rendu compte que la majorité des élèves parvenaient à expliquer le fonctionnement de l'objet technique et de ses composantes en faisant appel aux notions scientifiques pertinentes. Ils ont aussi constaté que les élèves pouvaient utiliser ces connaissances "pour expliquer les phénomènes qui se produisaient dans une autre situation qu'ils n'avaient pas étudiée"[32] (voir en annexe les pages 143 et 144). Ils estimaient donc avoir enrichi le contenu technique d'éléments transférables de formation.

b) Des cours de sciences physiques intégrant l'objet technique

Lors d'une étude récente, dont les résultats ont été présentés dans la première partie de ce travail[33], l'équipe de recherche de

---

31. Idem, pp. 145-155. Faute de temps, on n'a pu effectuer une évaluation normative à la fin du module concernant le soudage à l'arc au tungstène.

32. Idem, p. 57.

33. Labonté Thérèse, L'acquisition des concepts scientifiques sous-jacents à la formation technologique dans l'enseignement professionnel au secondaire. Québec, MESST, DGERU, 1985, 212 pages.

Chicoutimi avait établi la liste des notions de sciences qui devraient être intégrées au cours de techniques physiques de l'enseignement secondaire.

Dans le but de faire acquérir ces notions par les élèves, cette équipe a élaboré une série de treize cours. Les trois derniers ont été préparés durant l'année scolaire 1984-1985 et portent sur le principe d'Archimède, le principe de Pascal et le moment d'une force.

Les cours de cette série ont comme caractéristiques de suivre un plan rigoureux, de n'accorder aux mathématiques qu'une "importance secondaire", de fournir des exemples tirés de l'environnement de l'élève et d'être découpés en tranches correspondant au maximum à une demi-heure d'enseignement. En 1985, un certain nombre de ces cours ont été expérimentés avec succès dans des classes de mécanique diésel[34].

On comprendra aisément que tous les cours, par exemple ceux qui portent sur l'atome, le mouvement, l'inertie, ne fassent pas nécessairement appel à des "objets techniques", mais plutôt à des expériences élémentaires, des observations et des explications à partir d'objets très simples et de schémas.

Cependant, nous voudrions attirer ici l'attention du lecteur sur les trois derniers cours qui évoquent plus largement des objets techniques et ce, à l'aide d'illustrations ou de la projection de transparents. Ainsi, les cours sur le principe de Pascal et le moment d'une force partent nettement de l'observation de schémas d'objets techniques, alors que le cours sur le principe d'Archimède y aboutit après expérience.

---

34. St-Laurent Rodrigue, Fortin Marc et coll., op. cit. pp. 16-18.

- Le cours sur le principe de Pascal

Le principe de Pascal constitue l'objet du douzième cours. Les objectifs spécifiques de ce cours sont d'amener l'élève à:

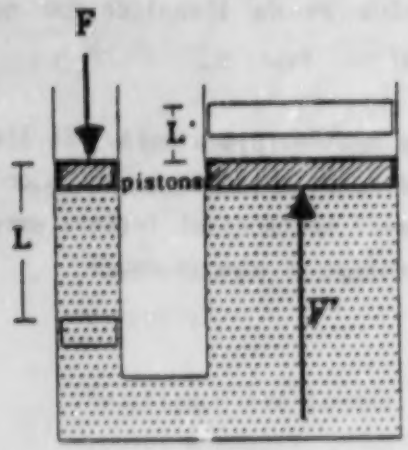
. se rendre compte que les pressions sont transmises intégralement dans un liquide parce que ce dernier est incompressible;

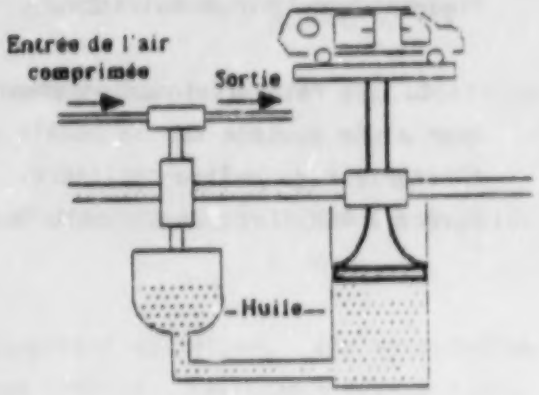
. décrire comment s'effectue la multiplication des forces par un liquide dans un système clos;

. "décrire succinctement le fonctionnement du monte-automobile";

. "citer le principe de Pascal"[35].

Le cours commence par le visionnement d'une acétate faisant ressortir le fonctionnement d'un monte-automobile hydraulique.





F' >> F et L' << L

Tiré de St-Laurent, Fortin et coll., op. cit., p. 73

35. Idem, p. 73.

On présente les composantes de cet objet technique (vases communicants, pistons, huile et air comprimé) et l'on explique brièvement que "l'air comprimé fait descendre l'huile dans le réservoir de gauche" et que "celle-ci monte dans le réservoir de droite"[36].

On amènera à saisir notamment que la pression exercée sur un point de la surface d'un liquide est transmise intégralement en tout point du liquide ou des parois du contenant. Ainsi "les forces F et F', qui agissent sur les deux pistons sont directement proportionnelles aux sections des pistons"[37].

Et l'on rejoint ainsi la pensée de Piaget relativement à la saisie du fonctionnement d'une presse hydraulique. Le schème de la proportionnalité est nécessaire, lequel relève du groupe de quatre transformations ou groupe INRC[38].

Le douzième cours permet de comprendre le fonctionnement des freins hydrauliques, à l'aide du schéma et de l'explication qui figurent sur la page suivante.

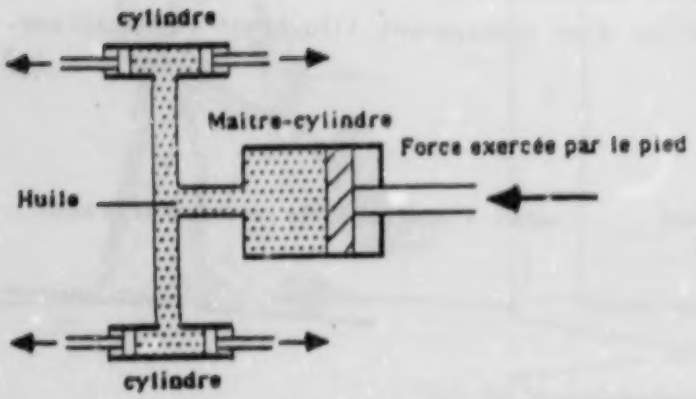
De fait, le fonctionnement de ce système est simple. Si l'on exerce une poussée sur la pédale de frein, on augmente la pression à l'intérieur du maître-cylindre. Celle-ci se transmet intégralement (grâce à l'huile) aux dispositifs de freinage de chaque roue.

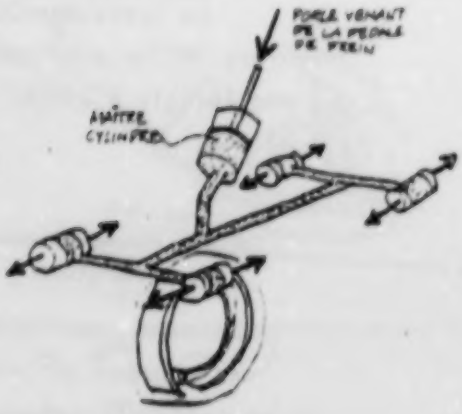
---

36. Idem, p. 74.

37. Idem, pp. 76-77.

38. Piaget Jean, Inhelder Barbel, La psychologie de l'enfant. P.U.F., 1968, pp. 112-114.





"Le principe de Pascal est aussi applicable dans le système de freins hydrauliques d'une automobile. Si la pression augmente dans le maître cylindre en appuyant sur la pédale de frein, la pression augmente d'une quantité égale, à chaque piston du système hydraulique."

Tiré de St-Laurent, Fortin et coll., op. cit., pp. 75 et 78.

- Le cours sur les leviers ou le moment d'une force

Le treizième cours porte sur les leviers. Ses objectifs spécifiques sont les suivants:

. "définir et calculer le moment d'une force par rapport à un point d'appui;"

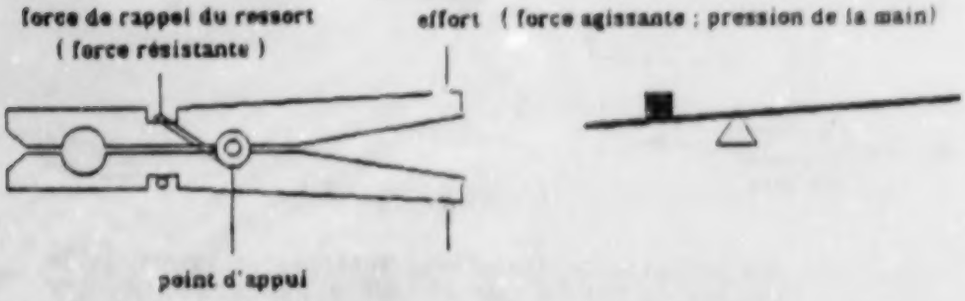
. "expliquer les termes se rapportant au levier: axe de rotation (point d'appui), effort (force motrice), résistance (force résistante), bras de levier;"

. se rendre compte que "les leviers peuvent modifier la grandeur des forces mais non les travaux en cause" et que "les engrenages produisent les mêmes effets que les leviers"[39].

---

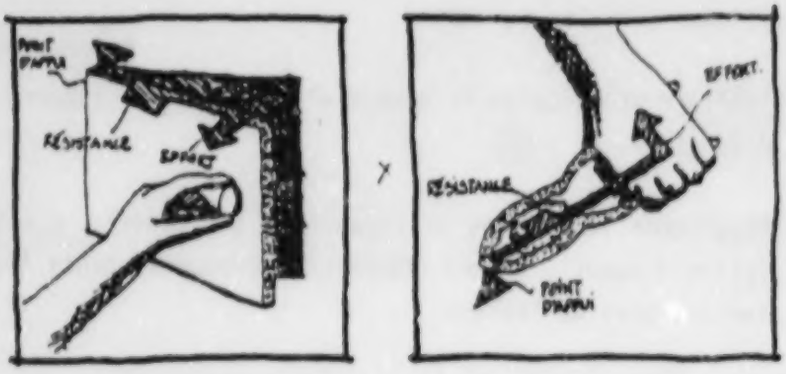
39. St-Laurent Rodrigue, Fortin Marc et coll., op. cit., p. 79.

Le treizième cours débute par l'évocation de l'ancienneté des leviers et la présentation d'un transparent illustrant le mécanisme d'une épingle à linge.



Tiré de St-Laurent, Fortin et coll., op. cit., p. 80.

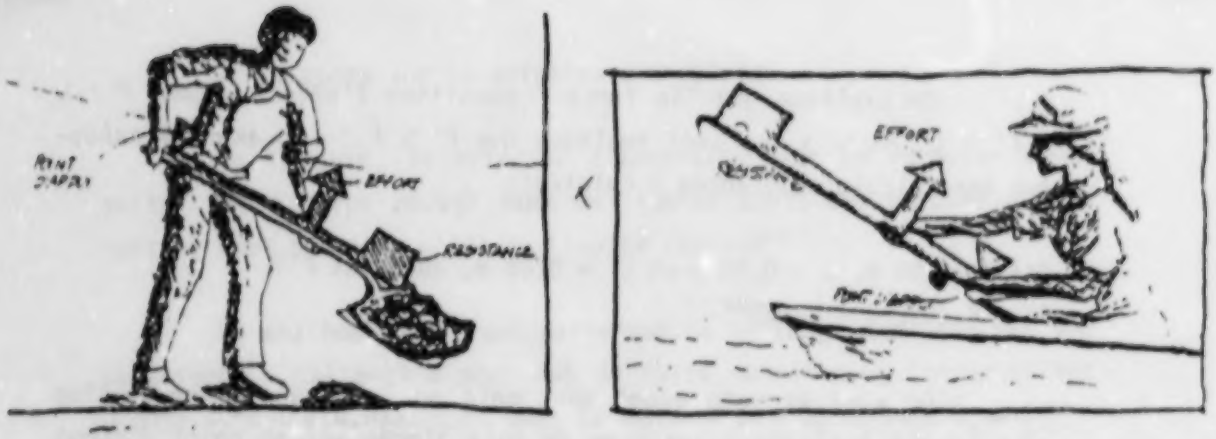
On analyse ensuite le fonctionnement des vitesses d'une bicyclette en faisant observer qu'il y a là un point d'appui ainsi que des forces agissantes et résistantes[40]. On donne ensuite des exemples d'autres types de leviers: ceux "dont la résistance est située



Tiré de St-Laurent, Fortin, et coll., op. cit., p. 85.

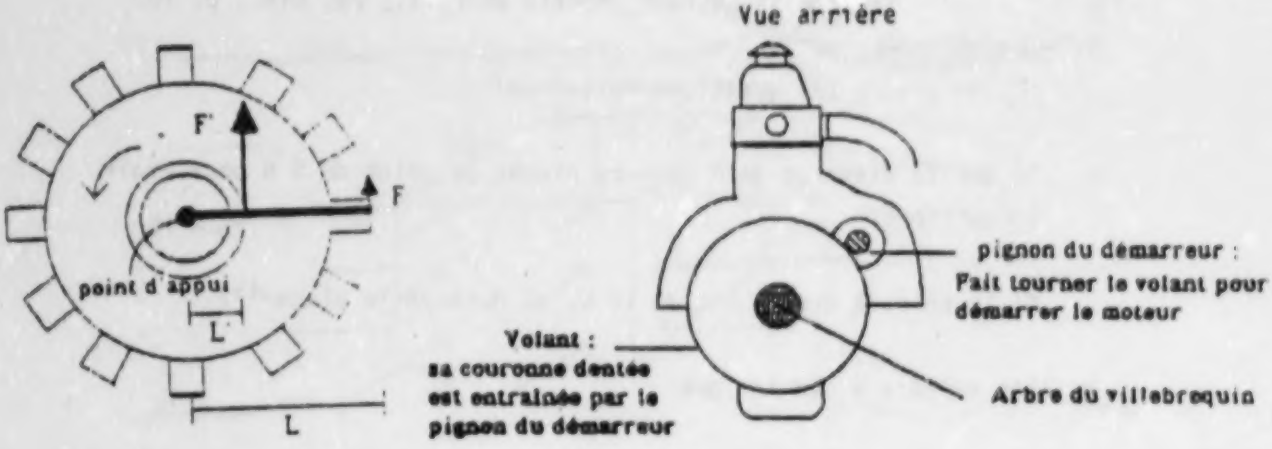
---

40. St-Laurent Rodrigue, Fortin Marc et coll., op. cit., p. 79.



Tiré de St-Laurent, Fortin et coll., p. 85.

entre le point d'appui et le point d'application de l'effort"[41] (voir la page précédente), et ceux "pour lesquels l'effort est situé entre le point d'appui et la résistance"[42] (voir ci-dessus); on fera saisir que la roue dentée d'un engrenage et par conséquent le démarreur d'une automobile constituent des leviers[43].



Tiré de St-Laurent, Fortin et coll., op. cit., pp. 81 et 82.

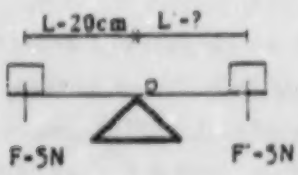
41, 42. Idem, p. 85.

43. Idem, pp. 81-82.

On explique que "la force F constitue l'effort. Comme F · L = F' · L' et L' > L, ceci implique que F' > F." On amène à exécuter des calculs semblables à celui-ci:

"Si F = 200 N, L = 0,25 m et L' = 0,05 m, quel est F'?
F' = F (L/L') = 1000N[44].

On aura eu soin avant tout cela de faire une démonstration plus simple à l'aide d'une tige de bois placée sur un point d'appui P:



Tiré de St-Laurent, Fortin et coll., op. cit., p. 79.

On posera les questions suivantes:

. "À quelle distance de P doit-on placer le poids de 5 N pour avoir l'équilibre?"

. Si le poids à droite est de 10 N, où doit-on le placer[45]?

et l'on amènera à déduire que:

F · L = F' · L'. On expliquera que "le produit de la force par sa distance au point d'appui est appelé moment de cette force par rapport au point d'appui"[46].

---

44. Idem, p. 81.

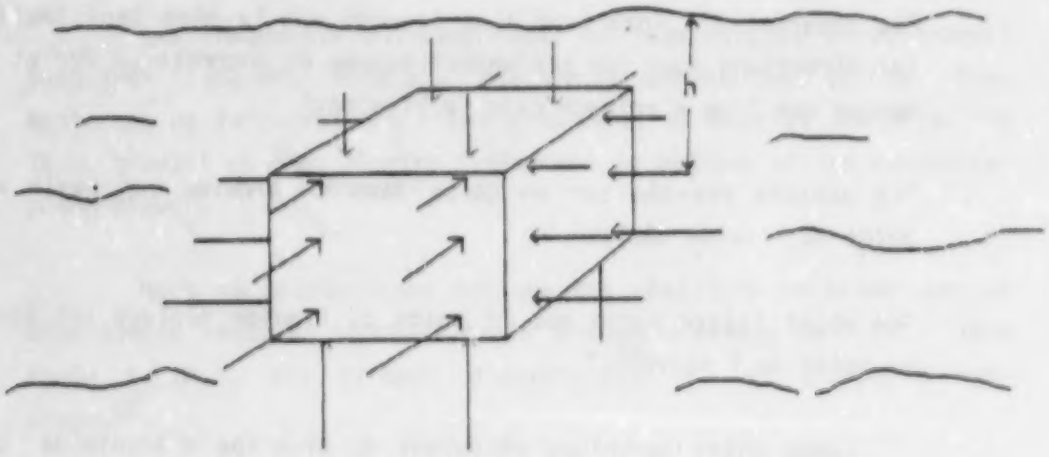
45, 46. Idem, p. 80.

- Le cours sur le principe d'Archimède

On le sait, le principe d'Archimède peut se formuler comme suit: "Tout corps plongé dans un liquide subit une poussée du bas vers le haut égale au poids du liquide déplacé"[47].

Le onzième cours, qui porte sur ce principe commence par une expérience. Celle-ci a pour but de faire saisir que, lorsqu'il est plongé dans l'eau, un objet dont la densité est supérieure à celle-ci semble moins lourd qu'auparavant et que la différence de poids observée à l'aide d'un dynamomètre est due à la poussée du liquide sur l'objet et non à une variation de sa masse[48].

On vise non seulement à faire mémoriser le principe mais surtout à faire saisir les causes de la poussée et ses relations avec le poids du liquide déplacé[49]. À l'aide du dessin suivant, on expliquera que les pressions varient en fonction de la profondeur. À une



Tiré de St-Laurent, Fortin et coll, op. cit., p. 68.

47. Idem, p. 68.

48. Idem, p. 67.

49. Idem, p. 68.

même distance de la surface, la pression est la même partout. Mais plus la profondeur augmente, plus la pression augmente. Les pressions exercées sur le dessous de l'objet étant plus fortes que celles qui s'exercent sur sa surface supérieure, celui-ci est poussé de bas en haut.

Pour faire comprendre les relations de la poussée avec le poids du liquide déplacé, on mesure le volume d'un objet en mesurant le volume de ce liquide. On pèse celui-ci et l'on inscrit au tableau le poids obtenu. Les élèves peuvent alors saisir quelle relation existe entre la mesure du volume et celle du poids[50].

Les notions que doivent retenir les élèves sont les suivantes:

- "Un objet déplace un volume du liquide égal à son propre volume lorsqu'il est complètement submergé."
- "La pression à l'intérieur d'un liquide est la même dans toutes les directions pour une profondeur donnée et augmente au fur et à mesure que l'on s'enfonce dans le liquide."
- "La poussée exercée sur un corps dans un liquide est égale au poids du liquide déplacé."
- "Un objet flotte parce que le poids du liquide déplacé est égal au poids de l'objet[51]."

Comme objet technique découlant du principe d'Archimède, on mentionne notamment le flotteur d'un carburateur et la jauge à essence, qui consiste en un flotteur relié à un système électronique[52].

---

50. Idem, p. 68.

51. Idem, p. 70.

52. Idem, p. 69.

La recherche dont nous parlerons maintenant utilise aussi une méthode inductive mais recourt à l'objet technique lui-même.

3. Une recherche visant à faire saisir la structure et le fonctionnement d'un moteur

Comme l'indique le rapport intitulé Objet technique et formation d'adultes[53], Michel Marcon et ses collaborateurs ont conduit "une centaine de séances d'expérimentation" orientées vers un même objectif: comprendre la structure et le fonctionnement d'un moteur à deux temps. "Les mêmes moteurs Peugeot, les mêmes médias, le même protocole, la même équipe d'animateurs ont contribué à reproduire fidèlement ce modèle d'animation pédagogique[54]."

Cette expérience a touché aussi bien des publics relevant du système scolaire que des publics n'y appartenant pas. Parmi les premiers, on peut mentionner des élèves de L.E.P., des professeurs techniques et des professeurs de l'enseignement supérieur.

Les fondements philosophiques ou idéologiques de ce travail sont très élaborés. Nous n'en toucherons que quelques points. Nous tenterons de faire ressortir les hypothèses de base et les objectifs de ce travail et d'en décrire brièvement la méthode et les ressources pédagogiques.

Nous ne présenterons ici que des résultats contenus dans un même compte rendu et touchant trois groupes d'élèves de C.E.T. (1ère année B.E.P.), six groupes d'enseignants et un groupe d'ingénieurs[55].

---

53. Marcon Michel, Objet technique et formation d'adultes, Région Rhône-Alpes, 146 pages.

54. Idem, p. 11.

55. Idem, p. 38.

a) Problématique et hypothèses de base

La série d'expérimentations menées par Michel Marcon et son équipe s'appuient sur deux hypothèses de travail relatives à deux thèmes principaux de la pédagogie contemporaine: la relation pédagogique et l'évaluation.

Voyant la relation pédagogique actuelle comme un "rapport de force" permettant au formateur de transformer l'évaluation en une "inquisition" débouchant sur une "accusation", Michel Marcon propose à l'expérimentation un "contre-modèle", une "contre-méthode" et une "contre-technique". Il part du postulat qu'une relation pédagogique est le fruit d'une praxis et de "la conclusion suivant laquelle la relation pédagogique traditionnelle inhibe toute évaluation équitable". Et il a décidé de choisir ses contre-modèles en "inversant (renversant?) les pratiques pédagogiques usuelles"[56].

- Le choix du "contre-modèle"

Examinant quelques types de modèles didactiques, notamment celui de Snyders, qui propose l'expérimentation comme mode de formation, Michel Marcon y perçoit des faiblesses. Il justifie ensuite les choix de l'objet technique comme contre-modèle.

L'objet technique, explique-t-il, est indubitablement un témoin culturel tout autant que "les grands exemples ou les grands hommes du passé"[57]. Citant Grégoire de Nysse, J.J. Rousseau et A. Leroi-Gourhan, il fait ressortir la noblesse de l'objet technique et son importance dans le développement de l'homme et de la civilisation[58].

---

56. Idem. pp. 12-13.

57. Idem, p. 15.

58. Idem, pp. 15-16.

De plus, l'objet technique est un "modèle éducatif éminemment progressiste"; son évolution s'est accomplie "par des "réformes" nécessaires et successives"[59]. Enfin, paradoxe étonnant, l'objet technique a été exclu des modèles d'éducation, et cela, jusque dans l'enseignement technique[60]. Voilà en bref, les raisons pour lesquelles Michel Marcon choisit l'objet technique comme contre-modèle.

- Quelques distinctions et commentaires sur les relations de l'homme avec le donné technique

Dans la relation de l'homme au donné technique, Michel Marcon distingue, en s'inspirant de Simondon, deux modes fondamentaux de relation:

. "Le mode minoritaire" selon lequel l'objet utilisé couramment s'intègre à l'environnement. Il s'agit là d'un savoir technique implicite, caractérisant celui de l'enfant, de l'apprenti, de l'artisan.

. "Le mode majoritaire" qui transforme l'objet technique en un "objet scientifique" dont "on possède une connaissance rationnelle"[61].

Michel Marcon partage l'opinion de Simondon, selon lequel "il y a nécessité d'une synthèse au niveau de l'éducation entre le mode majeur et le mode mineur d'accès aux techniques"[62]. Il reproche à

---

59. Idem, p. 17

60. Idem, pp. 17-18.

61. Idem, p. 18.

62. Simondon Gilbert, Du mode d'existence des objets techniques, Aubier, 1958, p. 111.

l'enseignement technique "de n'avoir pas découvert une voie moyenne entre le statut de majorité et le statut de minorité des objets techniques"[63].

Afin de fonder sa méthodologie déductive commente-t-il, "le pédagogue-technologue décompose et analyse l'objet technique qui disparait un tant que tel"[64]. Il y a là une "déconcrétisation" isolant "ses fonctions destinées à la seule illustration des lois scientifiques"[65].

Sans doute, la connaissance de chacune des fonctions est-elle nécessaire, admet Michel Marcon, mais continue-t-il:

> "L'acte technique, l'invention, synthèse des fonctions dans un ensemble synergétique, n'a pas seulement un fondement scientifique: l'inventeur doit avoir aussi des relations sur le "mode mineur" avec l'objet de sa recherche afin que les connaissances intuitives et sensibles qu'il acquiert par la manipulation de l'objet, l'assistent dans sa démarche."[66]

Autrement dit, selon Michel Marcon, "la manipulation et la connaissance scientifique sont complémentaires et constituent l'acte d'appropriation de l'objet technique qui utilise pour cela "la voie moyenne entre le statut de majorité et le statut de minorité"[67]. L'enseignement technique, ajoute-t-il, n'a "peut-être pas su inventer une voie d'apprentissage non exclusivement scientifique et adaptée à son objet"[68].

---

63. Marcon Michel, Objet technique et formation d'adultes, p. 20.

64. Idem, p. 21.

65, 66. Idem, p. 22.

67, 68. Idem, p. 23.

Certaines expériences ont tenté de remédier à la situation. À ce propos, Michel Marcon cite notamment Lucien Géminard, qui rapporte une expérience menée à Sèvres sur le thème de la soudure au chalumeau. Cette expérience, qui comportait la visite d'ateliers de soudure des usines Renault, a permis aux élèves de percevoir dans l'usine et d'étudier ensuite systématiquement en classe et au laboratoire les aspects biologiques et physico-chimiques de cette technique. On a aussi procédé à l'analyse des chalumeaux et détendeurs et résolu les problèmes liés au matériel et aux techniques opératoires. Enfin chaque élève a effectué des soudures[69].

Il s'agit là, selon M. Marcon, d'une expérience manifestant "le souci d'incorporer l'objet technique à la culture par la médiation d'une voie moyenne entre son statut de minorité et son statut de majorité"[70].

- Hypothèse globale et critères du choix d'un objet technique et d'une "contre-méthode"

. Hypothèse globale

Après avoir analysé divers aspects de la relation pédagogique et de l'évaluation, Michel Marcon formule l'hypothèse que "l'évaluation" honnête n'est possible qu'à la condition de permettre un nouvel équilibre du rapport de forces dans la relation pédagogique". C'est là, l'hypothèse qu'il a voulu vérifier par l'expérimentation de "la séquence du moteur de cyclomoteur"[71].

69, 70. Idem, p. 24.

71. Idem, p. 12.

. Le choix de l'objet technique

On comprendra aisément que le choix de la méthode*, laquelle déterminera le type de relation entre le formateur et le formé, dépendra du type de l'objet technique à étudier[72]. L'auteur a donc défini une série de critères devant présider au choix du "modèle objet technique". Ces critères sont les suivants:

. L'objet technique doit faire partie de l'environnement de l'élève; il doit lui être familier et usuel.

. Il doit posséder une certaine richesse, ne pas être un gadget. Il devrait être "en rapport avec les grandes fonctions humaines de nutrition, de relation et de reproduction, envisagées dans leur sens le plus large"[73]. On peut même utiliser des appareils complexes du laboratoire ou de l'industrie afin d'apprendre à les utiliser intelligemment[74].

. L'objet technique en cause doit être démontable et concret. S'il est concret, il se distinguera "de l'objet scientifique, qui n'existe que pour illustrer une seule fonction mécanique, physique, voire mathématique qu'il isole"[75].

. Le choix de la méthode

Quelle relation pédagogique induit le modèle proposé par l'auteur? La réponse à cette question comporte plusieurs aspects.

---

* Pour Michel Marcon, "la méthode est un ensemble de règles et de principes normatifs sur lesquels repose l'enseignement, alors que la technique évoque plutôt des 'procédés de travail'", op. cit., p. 28).

72, 73, 74. Idem, p. 29.

75. Idem, p. 31.

Si l'objet technique est concret et familier à l'élève, une "relation équilibrée" pourra s'établir entre le formateur et le formé. En effet, "si l'un possède une relation sur le mode majeur avec l'objet, l'autre bénéficie de l'expérience première que donne la relation sur le mode mineur"[76]. Éventuellement, le formateur "devra démontrer qu'à égalité d'habileté dans la manipulation, sa méthode est meilleure"[77].

Si l'objet technique est riche, c'est-à-dire s'il est le produit d'emprunts multiples à la science, à la mathématique, à l'économie, il suscitera des curiosités diverses. Pour les satisfaire, le formateur devra soit faire preuve d'un savoir-faire varié, soit "partager ses pouvoirs avec les formés eux-mêmes, avec des spécialistes" et avec une documentation ouverte à tous, exhaustive et démystifiant le "livre du Maître"[78].

Enfin, si l'objet technique est démontable, il encouragera la manipulation. L'auteur recourt ici à une analogie. Le joueur qui veut reconstruire un puzzle se livrera, même s'il est capable d'opérations formelles, à de multiples essais, il disposera les pièces de diverses façons.

> "Le formateur a tendance à privilégier la formalisation, puis l'abstraction et à rejeter le support concret, comme si l'acquisition des stades supérieurs d'opérations mentales gommait les possibilités antérieures, alors que ces stades sont heureusement cumulables et constituent l'arsenal d'interventions sur l'objet qui permet la connaissance."[79]

Ne serait-ce pas là une lacune que l'on retrouve trop fréquemment dans l'enseignement des sciences en général?

76, 77. Idem, p. 31.

78, 79. Idem, p. 32.

b) La technique et le matériel didactique

Michel Marcon a voulu choisir une technique rigoureuse, ou plutôt selon ses termes, "une contre-technique pédagogique garantissant, en quelque sorte, l'application de la contre-méthode"[80]. Voici, en bref des indications concernant l'aménagement des locaux et les ressources pédagogiques, les objectifs et le déroulement de la séquence.

- L'aménagement du local et les ressources pédagogiques

Le local dans lequel se déroulera la séquence aura été préparé à l'avance. Il contient trois tables espacées supportant chacune un moteur Peugeot de 49 cm^3. Il s'agit d'un modèle animant le vélomoteur "T.S.N. Rallye". On trouve aussi sur ces tables "quelques outils, une clé à tube de 10, un tournevis, une clé à bougie et une pince à circlips"[81].

Sous un panneau portant l'inscription Banque de documents, d'autres tables fournissent des informations diverses. Dans un angle de la pièce, on a installé un rétroprojecteur pouvant faire voir "une maquette du moteur que l'on peut animer"[82].

Les documents et le matériel, indique l'auteur, sollicitent diverses opérations mentales. Pour les opérations concrètes, mentionnons "le moteur lui-même et un éclaté publicitaire avec nomenclature", et pour les opérations formelles et abstraites "le schéma de la loi du cycle thermique deux temps"[83]. On trouvera en annexe des exemples des documents utilisés (voir pp. 145 et 146).

---

80. Idem, p. 36.

81, 82. Idem, p. 3.

83. Idem, p. 35.

L'équipe responsable de l'expérience se compose de l'animateur, d'observateurs et d'un consultant-spécialiste du moteur dont l'action est non-directive[84]. Les ressources pédagogiques sont disposées de façon claire et intangible.

On doit compter au minimum neuf élèves ou participants, de façon à pouvoir former "trois sous-groupes d'au moins trois personnes"[85].

- Les objectifs

Les objectifs proposés aux participants sont les suivants:

. "nommer et désigner les pièces et les sous-ensembles du moteur;"

. "comparer des pièces, des sous-ensembles, des fonctions du moteur;"

. "expliquer le fonctionnement général du cycle deux temps."

On propose donc aux groupes un programme qui consiste à "nommer, comparer, comprendre une loi"[86].

- La séquence

La séquence dure au moins trois heures et se divise en trois parties principales, réparties par exemple selon l'horaire suivant:

09 h 00 - 11 h 00: "travaux de groupes"
11 h 00 - 11 h 40: "exposés"
11 h 40 - 12 h 00: "discussions sur les exposés"[87].

---

84. Idem, pp. 8 et 34.

85. Idem, p. 9.

86. Idem, p. 35.

87. Idem, p. 8.

L'animateur énonce tout d'abord les objectifs et écrit au tableau les consignes les plus importantes. En ce qui concerne le deuxième objectif, il désigne par exemple certaines pièces du moteur ("voici le volant magnétique qui fournit du courant; voici la bougie qui produit l'étincelle alors que le carburateur fournit le mélange air-essence")[88].

Il précise que chaque sous-groupe peut s'organiser à sa guise et présente en les désignant tour à tour les divers moyens mis à la disposition des participants. Il manipule même la maquette en montrant le fonctionnement du rétroprojecteur[89].

Il présente aussi le consultant en indiquant son rôle: répondre aux questions sans donner un cours ni imposer une façon de procéder[90].

Après les deux heures de travaux, les sous-groupes échangeront les résultats de leurs recherches. L'animateur veillera à ce que les exposés ne dépassent pas quinze minutes et soient présentés dans une ambiance dénuée d'agressivité. Il peut tolérer "un début de feedback des observateurs" et "permettre au consultant-spécialiste d'intervenir sur le contenu technologique des exposés"; ses apports, s'ils répondent aux attentes des participants seront assimilés aisément[91].

En bref, le protocole encadrant cette séquence est "rigide" alors que "l'activité et l'expression sont libres" et "les itinéraires de la découverte très variés"[92].

---

88. 89. Idem, pp. 4 et 5.

90. Idem, p. 8.

91. 92. Idem, p. 10.

c) Observations et résultats

Pour observer les travaux de groupe, on a utilisé une grille repérant la démarche de chaque groupe quant à la durée et au moment de l'utilisation des ressources pédagogiques, et ce, en fonction des objectifs[93].

On l'a déjà mentionné, les observations et résultats rapportés ici ne concernent que dix groupes ayant participé à l'expérience. Ils ont été tirés d'un compte rendu établi par un professeur d'enseignement technique et nous n'en donnerons que quelques éléments.

Les animateurs n'ont pas eu à intervenir lors de la formation des groupes qui se composent de trois à cinq personnes[94].

Dans chaque groupe, le début des activités est marqué par des hésitations. À la suite de diverses propositions, on lit des documents et l'on observe moteur et maquette.

On cerne assez vite des objectifs et l'on décide d'en poursuivre un. On choisit de démonter le moteur, sauf chez les ingénieurs, qui préfèrent consulter les documents. Les élèves de C.E.T., cependant, recourent unanimement à l'approche concrète.

> "La compréhension du mécanisme se fait d'abord par une identification des pièces. La démarche - manipulation du moteur et identification sur les documents - permet de nommer les pièces et de préciser leur fonction."[95]

On repère aussi les mouvements relatifs et l'on réussit dans tous les groupes à analyser le fonctionnement du moteur. Fait important à noter:

---

93. Idem, p. 37.

94. Idem, p. 38.

95. Idem, p. 39.

> "... dans cette situation expérimentale, les élèves et le groupe féminin, aux connaissances théoriques absentes en la matière, ont atteint plus rapidement le but que les ingénieurs, égarés un moment dans une recherche théorique inadaptée aux moyens proposés."[96]

Pour établir le principe du moteur à deux temps, les participants ont manipulé et étudié attentivement maquette et schémas. Ils sont parvenus à saisir ce principe en comparant "les phases du schéma et leur repérage sur la maquette lors de son animation". Ce résultat a été atteint dans tous les groupes, "les capacités intellectuelles n'apparaissant pas dans cet exercice, comme un avantage décisif"[97].

Il importe de souligner ici la complexité du problème, qui touchait le mécanisme thermodynamique du moteur.

> "Établir que l'agent-moteur est le mélange comprimé air-essence, enflammé par une étincelle électrique, discerner les entrées de gaz frais et les sorties de gaz brulés sont des opérations qu'il faut déduire et imaginer par l'observation des schémas et dessins et des manipulations de maquette et moteur: opérations d'intelligence concrète lors des manipulations, puis formelles dans les phases d'hypothèses et déductions nécessaires à la redécouverte du principe."[98]

Notre travail ayant pour objet l'acquisition de concepts scientifiques, nous ne rapporterons pas ici les autres résultats et éléments d'évaluation de cette recherche, qui mériteraient d'être davantage connus. Nous voudrions cependant insister sur la valeur du "tâtonnement expérimental" que met en évidence cette étude et mentionner que la séquence objet technique, dûment adaptée, a été utilisée pour former des travailleurs et formateurs dans de nombreuses entreprises[99].

96, 97. Idem, p. 40.

98. Idem, p. 45.

99. Idem, pp. 61-128.

La recherche dont il sera maintenant question porte sur l'apprentissage de l'électronique élémentaire. On y considère l'objet technique en se centrant sur les concepts scientifiques qui le sous-tendent.

4. Une étude sur l'enseignement de l'électronique élémentaire

Cette recherche vise à faire saisir le processus d'assimilation des propriétés des objets techniques. L'auteur a cru bon de faire précéder son étude de diverses définitions et distinctions.

a) Définition et distinctions relatives aux objets techniques

- Définition et hiérarchisation

. Définition

Selon B. Gillet et P. Charmet, les objets techniques sont des "objets fabriqués qui se définissent surtout par les relations qu'ils manifestent entre concepts scientifiques (intensité, force électromotrice - résistance - etc.)"[100]. Selon les auteurs, les objets techniques se différencient des autres objets par diverses propriétés découlant de la mise en relation de concepts scientifiques. Ces propriétés, qui sont des propriétés formelles, permettent de présenter certains objets techniques sous forme de hiérarchie et de mieux en justifier les propriétés d'utilisation.

. Un exemple de hiérarchie

Par exemple, en électronique élémentaire, on obtiendra, en fonction des propriétés formelles, la hiérarchie suivante: résistan-

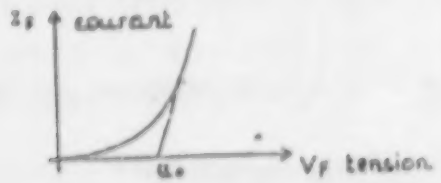
---

100. Gillet B., Charmet P., Psychopédagogie de l'enseignement des objets techniques, Bulletin de Psychologie 1974-1975, XXVIII, 18, no 319, p. 948.

ce, diode, transistor. De ces trois objets techniques, la résistance est le plus simple; à ses bornes le courant et la tension se conforment à la loi d'Ohm:

$$V = R \times I$$

Comme l'illustre le graphique suivant, obtenu grâce à des mesures effectuées aux bornes d'une diode* (dans le sens passant),



celle-ci "se conduit, après le coude (à la valeur U^0), comme une résistance, puisqu'on admet que les accroissements de la tension et ceux du courant sont proportionnels"[101]. La diode possède en plus une autre propriété, à savoir la tension de seuil (voir l'annexe, p. 147).

Le transistor, lui, peut être considéré comme deux diodes qui s'opposent. Il possédera donc les propriétés de la diode en inverse et de la diode en direct. Il s'y ajoutera "un effet particulier d'amplification en courant dû à la juxtaposition de ces diodes"[102] (voir l'annexe, pp 147 et 148).

Cette hiérarchie découle d'une analyse de la matière. Cependant, notent les auteurs, les difficultés d'ordre théorique et pratique éprouvées par les élèves, montrent qu'elle faciliterait la compréhension des objets techniques en cause.

---

* La diode normale, précisent les auteurs en bas de page est un semi-conducteur, qui approximativement, ne laisse passer le courant que dans un seul sens alors que la diode zener le laisse passer dans les deux sens, mais le bloque en sens inverse à une certaine tension.

101, 102. Idem, p. 949.

- Quelques distinctions supplémentaires à établir

. Propriétés formelles et propriétés d'utilisation

Les auteurs sont conscients du fait que l'on pourrait peut-être proposer d'autres types de propriétés, en fonction des objectifs que l'on poursuit... Certains professeurs, songeant à l'activité professionnelle future de leurs élèves insisteront davantage sur les propriétés qui sont les plus utilisées.

Que convient-il de faire dans cette perspective? Voici sur ce point la pensée de Gillet et Charmet:

> "Nous faisons l'hypothèse qu'il est préférable de justifier les propriétés d'utilisation à partir des propriétés formelles. En effet, nous avons souvent rencontré en début de formation, des définitions erronées de concepts ou de procédures, dont l'erreur prenait sa source dans une indistinction entre une justification formelle, rigoureuse et exacte, et un optimum souhaité par les conduites empiriques."[103]

En d'autres termes, il semble que bien des difficultés d'apprentissage seraient éliminées, si les élèves connaissaient mieux les concepts scientifiques sous-jacents aux objets techniques et saisissaient mieux les relations de ces concepts avec les conduites et éléments mis en jeu par l'utilisation de ces objets.

La saisie de ces relations permettrait aux élèves de structurer leurs connaissances, de les intégrer en un ensemble cohérent, ce qui en favoriserait la mémorisation.

. Domaine d'utilisation

La définition d'un objet technique suppose aussi que l'on situe son domaine d'utilisation. Un domaine "détermine la nature des

---

103. Idem, p. 949.

phénomènes envisagés et le type de relations qu'entretiennent les concepts scientifiques particuliers à ce domaine"[104].

Par exemple, du point de vue de l'électricité, la tension de seuil de la diode a une certaine valeur, alors qu'au niveau de l'électronique, elle est "la manifestation d'une "barrière de potentiel" d'une autre valeur, (...) due à la juxtaposition de charges positives et de charges négatives"[105].

. Paramètres relatifs à la situation

Pour définir les propriétés d'un objet technique, il importe d'indiquer les paramètres relatifs aux situations dans lesquelles on peut les observer. Ces paramètres (par exemple la température et la durée) peuvent déterminer des situations distinctes ou apparaître comme des éléments constitutifs du phénomène à l'étude[106].

Selon les auteurs, il est indispensable que les professeurs explicitent les distinctions présentées ci-dessus. Ceux-ci pourront trouver dans le texte original davantage d'exemples et de précisions.

b) Assimilation des propriétés des objets techniques

C'est en s'appuyant sur divers modes d'investigation que les auteurs ont formulé des observations relatives au processus de compréhension des objets techniques. L'un d'eux s'est livré pendant un an à un apprentissage personnel de l'électronique; de plus, ils ont eu recours à l'analyse des travaux écrits des élèves et à des entrevues individuelles. Les entrevues ont été effectuées dans les établissements techniques de la région parisienne ayant des classes terminales préparant au baccalauréat de technicien F2.

104, 105, 106. Idem, p. 950.

Au cours de ces entrevues, on a montré aux sujets des schémas simples représentant générateurs de tensions et résistances de charges. Pour chaque schéma, les élèves devaient "expliquer la circulation du courant et en déduire les propriétés de l'objet étudié"*. Ils devaient aussi "flécher les sens du courant et des tensions" (...) et "indiquer le "schéma équivalent" de l'objet dans ce cas"[107]. Nous tenterons de présenter ici l'essentiel des observations et des réflexions formulées par les auteurs.

- Un préalable: savoir identifier un objet par son symbole

La reconnaissance d'un objet technique suppose d'abord que l'on sache "l'identifier par son symbole"[108]. Des difficultés peuvent survenir à ce sujet. Ainsi dans le domaine de l'électricité, la flèche, symbole de la diode, indique le sens conventionnel de circulation du courant[109]. Or, certains élèves sont incapables de saisir le sens de la flèche et s'appuyant sur d'autres indices, ils considèrent comme "non passante", une diode passante.

- Le processus de compréhension lui-même

C'est grâce à deux processus d'abstraction reliant trois différents niveaux d'activités que l'élève assimile les propriétés de l'objet technique.

- Un premier niveau

Les activités du premier niveau, qui nécessitent des manipulations, consistent à effectuer la mesure de divers paramètres (par

---

* Il pouvait s'agir pour chaque élève, soit d'une résistance, soit d'une diode, soit d'un transistor.

107. Idem, p. 948.

108, 109. Idem, p. 950.

exemple, le courant et la tension). Cette prise de contact, si elle est mal conduite, peut susciter une confusion des faits et des causes. Selon les auteurs, une pédagogie adéquate des premières expérimentations n'existe pas encore.

Toute manipulation devrait amener à s'interroger sur sa finalité. S'agit-il de vérifier la compatibilité de certaines valeurs avec certaines normes? S'agit-il de redécouvrir une loi scientifique? On devrait aussi se demander quelles sont les propriétés du montage ou de l'objet utilisées au cours de la manipulation et quelles variables sont mises en jeu[110].

- Un second niveau

À partir de l'expérimentation et grâce à un premier processus d'abstraction, le sujet accède à un second niveau d'activités. Celui-ci se caractérise d'abord par l'élaboration "d'un tableau de covariation des concepts scientifiques dont on étudie les relations"[111]. Afin de visualiser les résultats, l'élève construit ensuite un graphique en utilisant les coordonnées cartésiennes. Il importe qu'il perçoive la courbe obtenue comme une abstraction se dégageant des mesures déjà faites.

Le sujet doit aussi saisir que chaque point du graphique indique "les valeurs instantanées possibles d'un système en équilibre"[112]; "la coordination de l'ensemble des points permet de formuler des hypothèses sur la nature de la loi physique qui relie les variations de deux concepts mesurés."[113]

---

110. 111, 112, 113. Idem, p. 951.

- Un troisième niveau

Le second processus d'abstraction amène à la formulation de modèles mathématiques. Comme la loi reliant les covariations est parfois très complexe, il faudra peut-être "idéaliser le graphique"[114] afin qu'il corresponde mieux à un modèle mathématique, plus facile à manier. C'est ce qui se produit lorsqu'on assimile à une droite la partie croissante de la caractéristique de la diode en direct.

On pourrait penser, dans ce cas, que les seuls indices perceptifs permettraient d'"idéaliser" le graphique; or, les entretiens de l'auteur avec les élèves montrent qu'il n'en est pas ainsi. Il vaut mieux se référer au modèle mathématique en cause dont on fera vérifier le bien-fondé par des manipulations adéquates[115].

Le graphique ayant été assimilé à un modèle mathématique, l'élève pourra ensuite chercher la solution numérique des problèmes. Pour ce faire, il devra décomposer algébriquement des concepts scientifiques. L'utilisation maximale de cette nouvelle formulation suppose que l'élève connaisse "les justifications du processus d'idéalisation de la courbe expérimentale" ainsi que "les propriétés du modèle mathématique auquel on a eu recours"[116].

L'"idéalisation" de la courbe pourra conduire aussi à la construction d'un "schéma électrique équivalent approché", qui fera ressortir les éléments essentiels du graphique.

---

114. Idem, p. 952.

115. Gillet B., La Connaissance du raisonnement technique. L'Orientation scolaire et professionnelle, 1978, 7, no 3, p. 254.

116. Gillet B., Charmet P., Psychopédagogie de l'enseignement des objets techniques. Bulletin de psychologie, 1974-75, XXVIII, 18, no 319, p. 948.

En quoi consistent les schémas électriques équivalents approchés? Ce sont des "objets idéaux, presque des concepts abstraits"[117].

> "Bien plus que des objets techniques, ce sont des êtres scientifiques, et il ne faut concevoir leur utilisation que comme aides à la formation"[118] (voir l'annexe, p. 148).

- Le processus, en bref

En résumé, l'assimilation des propriétés des objets techniques nécessiterait deux processus d'abstraction. À partir des premières manipulations et prises de mesure, le premier conduirait à la construction de graphiques. Le second amènerait à l'utilisation de modèles mathématiques et à la recherche de solutions numériques, qui exigeraient la décomposition algébrique de concepts scientifiques.

Ainsi, lorsqu'il utilise les graphiques représentant les propriétés des objets, l'élève devrait en considérer les données non seulement comme le résultat d'une expérience mais aussi comme une "concrétisation de modèles mathématiques"[119].

Il importe de souligner que l'hypothèse générale proposée par les auteurs en ce qui concerne le processus d'assimilation des propriétés des objets techniques, leur semble "capable d'expliquer la nature du raisonnement technique"[120]. L'un des auteurs poursuit sa réflexion sur le raisonnement technique dans d'autres études, notamment dans un article publié en 1981, qui nous semble le plus récent.

- Applications pédagogiques

Comme le soulignent les auteurs, il importe "de doter l'élève d'un ensemble de stratégies de lectures de symboles s'appuyant sur

---

117, 118, 119, 120. Idem, p. 953.

des indices pertinents"[121]. Ainsi pourra-t-il éviter des erreurs d'analyse dans les montages qui lui seront proposés.

Il convient de souligner que les processus d'abstraction dont parlent les auteurs semblent reposer sur l'action du sujet*. La connaissance, écrivent-ils, s'appuie d'abord sur l'expérimentation effectuée sur les objets[122]. L'élève devrait donc manipuler ceux-ci, effectuer la mesure des différents paramètres et construire lui-même des tableaux de covariation et des graphiques. Si cela s'avérait impossible, il devrait au moins être mentalement actif durant toutes ces opérations, car la courbe que représente le graphique doit lui apparaître comme "une abstraction à partir des mesures effectuées"[123] et l'amener à dégager des hypothèses sur les variations des concepts scientifiques en cause.

Et lorsqu'il utilisera les graphiques, le sujet ne devra pas en oublier "la signification expérimentale". Pour cela, il sera bon "d'insister sur les contrôles, les vérifications de cohérence que permettent les expérimentations, réelles ou possibles"[124]. Enfin, si le processus de compréhension se poursuit jusqu'à l'abstraction de modèles mathématiques et doit mener, par delà, à la solution numérique de problèmes, il faut "justifier mathématiquement" les façons de procéder et préciser au besoin la signification de certains concepts scientifiques[125]. Ainsi, faudrait-il par exemple, rappeler que les résistances consistent "dans le quotient de tensions par des cou-

---

121. Idem, p. 951.

* Ils font appel à la notion "d'abstraction réfléchissante", (p. 953). Or, cette forme d'abstraction, dont a parlé Piaget, s'effectue à partir de l'action du sujet.

122. Idem, p. 953.

123, 124. Idem, p. 951.

125. Idem, pp. 952-953.

rants"[126]. L'on n'oubliera pas non plus l'aide que peut apporter à la formation, dans certains domaines, l'élaboration de schémas électriques équivalents approchés.

De plus, lors de la présentation de divers objets techniques, on essaiera d'établir, si possible, des hiérarchies entre ces objets, en se fondant sur les concepts scientifiques qui leur sont sous-jacents. Mieux intégrées, les notions en cause seront ainsi mieux saisies et retenues.

Il nous semble que les professeurs d'électronique auraient intérêt à étudier en profondeur l'article de Gillet et Charmet. Ils y trouveraient plusieurs exemples et observations dont nous n'avons pas fait mention, notre but étant de faire ressortir, le plus succinctement possible, l'importance et le rôle des concepts scientifiques dans les apprentissages relatifs aux objets techniques.

La première partie de ce chapitre, qui se termine maintenant, rapportait des recherches effectuées presque uniquement dans des situations ayant pour but l'apprentissage. Les études que nous aborderons dans la deuxième partie se distingueront par un intérêt porté principalement à l'aspect psychologique des conduites, à une analyse du raisonnement face à divers objets techniques.

B) Études sur l'analyse des conduites et du raisonnement de l'élève dans des circonstances diverses

1. Raisonnement technique et acquisition de connaissances scientifiques: relations dégagées à partir d'un problème sur l'électronique

Sous le titre L'apprentissage du raisonnement technique selon Piaget[127], Bernard Gillet présente un travail, qui selon sa propre

---

126. Idem, p. 953.

127. Gillet B., L'apprentissage du raisonnement technique selon Piaget, Education permanente 61, déc. 1981, pp. 63-88.

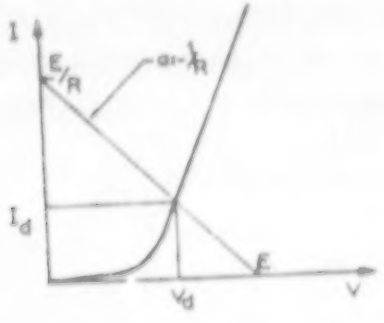
expression, "emprunte quelques éléments méthodologiques et théoriques aux recherches de Piaget"[128]. Ces éléments ont été utilisés dans l'analyse des conduites attendues et des conduites observées des sujets. L'auteur se propose aussi de montrer comment la théorie de Piaget peut susciter des réflexions permettant d'éclairer les difficultés des élèves.

a) Description de l'expérience

L'article en cause relate une expérience au cours de laquelle les élèves devaient recourir à une technique graphique de résolution de problèmes.

L'exercice nécessitait un circuit électrique composé d'une entrée et d'une sortie. On avait placé à l'entrée un générateur de tension (v.g. une pile) de force électromotrice E et une résistance R, et sur la sortie, un objet technique, par exemple une diode. En relevant, avec des appareils de mesure, la tension aux bornes de la diode et l'intensité du courant qui la traverse, on pourra obtenir une courbe, à savoir la "caractéristique".

> "Connaissant les valeurs à l'entrée (E et R) on peut déterminer graphiquement l'intensité du courant dans le circuit si l'on surajoute à la "caractéristique" de la diode en sortie une droite qui représente les propriétés de l'entrée qu'on appelle "la droite de charge". L'intersection des deux courbes fournit l'intensité du courant (Id) et la valeur de la tension aux bornes de la diode (Vd)."[129]



128. Idem, p. 63.

129. Idem, p. 64. Le schéma est tiré de la p. 65.

L'auteur explique que la droite de charge est très utile, parce qu'il n'existe pas de "relations simples entre l'intensité du courant qui traverse l'objet et la tension à ses bornes: il en est ainsi, ajoute-t-il, avec la diode et le transistor". En ce qui concerne la résistance, la relation correspond à la loi d'Ohm, ce qui est plus simple. L'auteur a donc utilisé une résistance, une diode et un transistor afin de connaître le niveau de compréhension des élèves[130].

Au cours de l'exercice, les quatre-vingt-un élèves interrogés devaient établir l'équation de la droite de charge, la représenter par un graphique, étudier les variations de celui-ci "en fonction des modifications de E et/ou de R"[131]. Ils devaient aussi réaliser un montage permettant "d'obtenir empiriquement cette droite, ou un schéma seul qui pourrait faire de même s'il était réalisé en montage"[132].

Les élèves, choisis au hasard dans quatorze établissements de la région parisienne, ont été examinés au cours d'entrevues de type piagétien*. L'auteur s'est efforcé "de suivre leur pensée en posant des contre-suggestions dans l'espoir d'évaluer leur degré de certitude des réponses fournies et de déceler leurs justifications"[133].

b) Les conduites attendues sur le plan psychologique

Il serait trop long de rapporter ici les résultats de cette expérience. Nous voudrions cependant faire ressortir l'analogie des conduites attendues sur le plan psychologique au cours de cette expérience et celle qu'exigerait l'acquisition de connaissances scientifiques selon A. Rosca.

130, 131, 132. Idem, p. 66.

* Il s'agissait d'élèves préparant le baccalauréat de technicien en électronique F2.

133. Idem. p. 64.

Dans la théorie piagétienne, souligne l'auteur, l'abstraction est le principal processus qui engendre les connaissances.

> "Il s'agit toujours, pour un sujet de tirer des informations à partir d'objets, soit en les examinant pour en extraire un caractère commun, soit en les manipulant pour en déduire de nouvelles informations non contenues à l'état brut dans les objets, mais révélées par les actions effectuées sur des objets."[134]

Piaget appelle la première forme d'abstraction, "abstraction simple" et la seconde "abstraction réfléchissante".

Selon Gillet, il semble possible d'appliquer à certaines opérations qu'effectuent les électroniciens, "le schéma général des processus d'abstraction"[135].

> "Lorsqu'ils réalisent un montage comprenant plusieurs objets (un générateur variable et des résistances variables par exemple) et qu'ils modifient les valeurs de ces objets pour obtenir certaines informations sur les intensités et les tensions, il semble bien qu'ils réalisent un processus d'abstraction."[136]

L'élaboration d'un schéma traduisant un montage serait aussi le résultat d'un processus d'abstraction. Cependant, comme un technicien doit travailler sur des informations qui gardent un certain rapport avec la réalité, il faut définir un autre processus pour rendre compte de ses activités: celui de concrétisation.

Par exemple, lorsqu'un technicien traduit un montage sous la forme d'un schéma, il doit se référer constamment au montage. De plus, le travail sur un schéma, ne porte pas seulement sur un dessin.

---

134. Idem, p. 68.

135, 136. Idem, p. 69.

Il s'agit de réfléchir sur la "représentation d'un montage réel qui est, en fait, l'objet central, celui qui sera réalisé ou modifié"[137].

Abstraction et concrétisation représenteraient donc les deux pôles de l'activité intellectuelle du technicien. Celle-ci différerait donc de celle d'un logicien ou d'un mathématicien travaillant sur des données complètement abstraites.

c) L'acquisition de connaissances scientifiques

Les processus d'abstraction et de concrétisation mis en évidence par B. Gillet correspondraient d'assez près, à ceux qu'exigerait l'acquisition de connaissances scientifiques. À ce sujet, l'auteur cite le passage suivant:

> "L'acquisition des connaissances scientifiques de la part des élèves au cours du processus d'enseignement suppose, d'une part, la possibilité de dégager les propriétés essentielles des objets et des phénomènes concrets ainsi que les relations essentielles qui existent entre eux, et, d'autre part, le savoir d'appliquer aux situations concrètes les connaissances théoriques acquises."[138]

L'acquisition et l'utilisation des connaissances scientifiques supposerait donc "un passage continuel du concret au général et à l'abstrait, et inversement"[139].

Les processus d'abstraction et de concrétisation pourraient aussi, selon l'auteur, "rendre compte des conduites attendues dans des disciplines scolaires différentes"[140].

---

137. Idem, p. 70.

138, 139. Rosca A. L., Activités d'abstraction et de généralisation chez l'enfant, Enfance, 3, 1961, 193-200 (Cité par B. Gillet, pp. 71 et 72).

140. Gillet B., L'apprentissage du raisonnement technique selon Piaget, Éducation permanente, 61, déc. 1981, p. 72.

Il est à souligner que B. Gillet a fait appel à des processus généraux d'abstraction pour rendre compte des conduites attendues sur le plan psychologique. Or, on peut se demander, par exemple, en abordant une étude faite par Vermersch (voir p. 57), pourquoi il n'a pas eu recours aux opérations logiques définies par Piaget. L'auteur s'en explique lui-même, invoquant le fait que dans des situations techniques complètement naturelles, une analyse utilisant ces opérations serait "extrêmement coûteuse". En effet, commente-t-il, "le raisonnement permettant de prendre une décision est très complexe et utilise parfois des variables difficilement formalisables"[141].

Au sujet du rôle que peut jouer dans l'apprentissage de l'électrocinétique, l'utilisation de schémas, il convient d'évoquer ici l'étude de S. Joshua[142] qui touche parmi d'autres, des élèves de l'enseignement professionnel. L'auteur se demandait si "la présentation schématique" favorisait certaines formes de raisonnements et de solutions de problèmes; il concluait notamment que la schématisation d'un montage permet de dégager les symétries d'ensemble et les symétries locales, et simplifie par là les raisonnements.

De fait, les études sur l'apprentissage de l'électrocinétique dans l'enseignement professionnel semblent peu nombreuses. Cependant, bien d'autres travaux ont concerné des élèves de l'enseignement général au primaire, au secondaire et à l'université. On a même repéré des étudiants universitaires de physique éprouvant des difficultés à allumer une ampoule avec une pile et du fil électrique, bien qu'ils aient reçu un enseignement sur l'électricité. On a aussi

---

141. Idem, p. 68.

142. Joshua S., L'utilisation du schéma en électrocinétique: aspects perceptifs et aspects conceptuels. Propositions pour l'introduction de la notion de potentiel en électrocinétique, Marseilles, Thèse de 3e cycle, Université de Provence, 1982.

observé des écarts entre leur facilité à énoncer des formules et des définitions et leur capacité d'utiliser leurs connaissances pour interpréter des circuits[143].

Si l'on désire avoir une vue d'ensemble de plusieurs de ces travaux, on pourra se référer à l'analyse critique que J.L. Closset en présente à la fin dans sa thèse de doctorat intitulée "Le raisonnement séquentiel en électrocinétique[144]. Sans doute la compréhension des circuits électriques est-elle fort importante en général dans l'enseignement professionnel, mais il serait trop long de résumer ici tous ces travaux. Il nous semble indispensable, toutefois, de donner les grandes lignes de la thèse de Closset.

2. "Le raisonnement séquentiel en électrocinétique"

a) Objectif et hypothèse

Dans son travail, J. L. Closset se propose de rechercher en ce qui concerne l'électrocinétique* "des raisonnements naturels qui restent constants"[145] même s'ils se manifestent de diverses façons.

L'auteur avait observé, au cours de sa pratique de l'enseignement, une série d'erreurs systématiques, et ce, aussi bien au laboratoire dans les copies des élèves. L'observation en classe, et plusieurs entretiens l'ont amené à préciser ses hypothèses, à savoir que:

---

143. Zee van E.H., Student conceptual difficulty with current electricity Meeting of the American Association of physics teachers, San Francisco, 1982.

144. Closset Jean-Louis, Le raisonnement séquentiel en électrocinétique, Paris, Université Paris VII, Thèse de 3e cycle, 1983, 243 p.

* Le Larousse de la langue française Lexis (p. 585), définit l'électrocinétique comme "l'étude des courants électriques, abstraction faite des phénomènes magnétiques qui en résultent".

145. Idem, p. 21.

> "... le raisonnement naturel en électrocinétique est un raisonnement essentiellement mononotionnel, la notion en cause étant évoquée le plus souvent par l'étudiant sous le nom de "courant", d'"électricité" ou d'"énergie"."[146]

b) Raisonnement "séquentiel" et description physique élémentaire d'un circuit

L'auteur a qualifié de séquentiel la forme de raisonnement naturel* qu'il avait mise en évidence. Celle-ci "se pratique en suivant le circuit à partir de la pile ou du générateur, sans tenir compte d'aucune influence de l'aval sur l'amont; il ignore ainsi l'aspect systématique du circuit"[147].

On saisira mieux les carences de ce raisonnement (si l'on n'est pas familier avec l'électrocinétique) en se référant à une description élémentaire d'un circuit électrique simple, correspondant aux données de la physique. Un tel circuit, explique Closset, "peut être considéré comme organisant un transfert d'énergie entre la pile et l'ampoule"[148]. La pile constitue une réserve d'énergie chimique et elle est aussi l'endroit où celle-ci se transforme en énergie

---

146, 147. Idem, p. 237.

* Dans le chapitre sur la problématique de sa thèse, J. L. Closset distingue la connaissance scientifique de la connaissance commune, essentiellement non questionnable, qui aboutit à un savoir incomplètement structuré et cohérent. Les notions sont les éléments de ce savoir; celles-ci "ne s'éclairent qu'au travers des relations qu'elles entretiennent entre elles, ou grâce aux propriétés qu'elles manifestent lorsqu'elles fonctionnent au sein de ce qui tient lieu de théorie (...) à l'individu, c'est-à-dire ses raisonnements". L'auteur qualifie de "naturels ou spontanés" ces raisonnements qui constituent "l'ossature" du savoir commun (op. cit. pp. 11 et 13). Pour de plus amples développements sur la connaissance commune, voir le chapitre V, p. 77).

148. Idem, p. 41.

électrique. L'ampoule quant à elle, transforme l'énergie électrique en chaleur et en lumière, autres formes d'énergie; elle n'emmagasine pas l'énergie mais la répand à l'extérieur.

Comment le transfert de l'énergie est-il assuré dans les conducteurs de métal d'un circuit fermé? Par "des électrons dits libres"[149]. Agissant comme une pompe ou un moteur, la pile met en mouvement l'ensemble des électrons libres du circuit, dont la quantité ne varie pas. Lorsqu'ils passent dans le filament de l'ampoule, ces électrons se heurtent aux atomes de celui-ci, ce qui amène un échauffement provoquant la luminosité.

> "L'intensité du courant électrique est définie par la quantité des charges qui traversent une section du conducteur en l'unité de temps. Elle est identique en toutes les sections d'un circuit série (boucle). En régime permanent, il n'y a donc ni accumulation, ni disparition des charges, ni localement ni globalement."[150]

Cela implique que l'intensité du courant ou "débit des électrons" est déterminée à la fois par la pile (d.d.p. aux bornes de celle-ci) et par le circuit tout entier. Si l'on ne tient pas compte de la résistance interne de la pile, on considérera la d.d.p. à ses bornes comme "une caractéristique indépendante des modifications éventuelles du circuit".

> "Chaque élément du circuit intervient localement, là où il se trouve, mais l'effet de cette action influence globalement l'intensité du courant dans tout le circuit. En particulier, dans un circuit série, la position relative des différents éléments du circuit n'a aucune importance quant à leur influence sur l'intensité du courant.[151]"

Si l'on modifie dans un tel circuit, la résistance d'un élément, la d.d.p. aux bornes de chaque élément sera modifiée. On peut

---

149, 150, 151. Idem, pp. 42-43.

donc conclure que "la structure du circuit électrique est systémique"[152]. C'est cette structure systémique que beaucoup d'élèves et d'étudiants semblent méconnaître.

c) Méthodologie

Comme il l'explique lui-même, l'auteur a voulu fonder sa description du modèle de "raisonnement séquentiel" sur une "expérimentation quantitative" effectuée à l'aide d'un questionnaire proposant six circuits séries[153]. En voici, à titre d'exemple, la première question et la première partie de la deuxième.

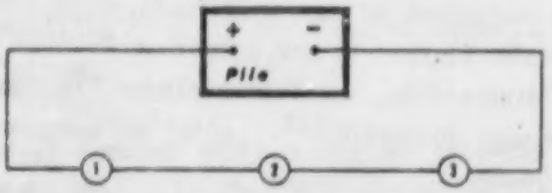
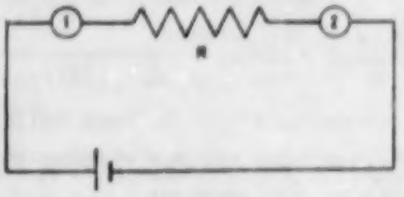


Figure 8

Q.1. : 1, 2 et 3 sont des ampoules identiques. Ces ampoules vont-elles briller de la même manière ou certaines vont-elles briller plus fort ou moins fort que d'autres? Dans ce cas lesquelles? De toute façon pourquoi?



Q.2.[a]: R est une résistance quelconque. 1 et 2 sont des ampoules identiques. L'ampoule 1 va-t-elle briller aussi fort, plus fort ou moins fort que l'ampoule 2 ?
Mettez une croix à côté de votre réponse.

1 brillera aussi fort que 2
1 brillera plus fort que 2
1 brillera moins fort que 2
Je ne sais pas
Il me manque des renseignements pour répondre
Lesquels ?

Expliquez maintenant pourquoi le plus clairement possible.

Tiré de J.L. Closset, op. cit. pp. 83 et 86-87.

---

152. Idem, p. 43.

153. Idem, pp. 237-238.

L'auteur a classifié les sujets interrogés en quatre catégories, selon le niveau de l'enseignement de l'électrocinétique qui leur avait été donné. On retrouvait parmi eux, tant belges que français, "des élèves de la fin de l'enseignement secondaire, des étudiants de plusieurs premiers cycles universitaires scientifiques et leurs aînés terminant une maîtrise de physique"[154].

L'expérimentation ayant confirmé et étendu les résultats de la phase exploratoire, l'auteur a mis à l'épreuve le modèle de raisonnement en cause. Il a voulu savoir dans quelle mesure ce modèle peut rendre compte du raisonnement dans des situations autres que celles qui mettaient en jeu un circuit série comportant trois éléments disposés toujours à peu près dans le même ordre. Les problèmes, plus diversifiés, devaient explorer "le domaine d'application" du raisonnement séquentiel[155]. Voici un exemple de la quinzaine de questions posées.

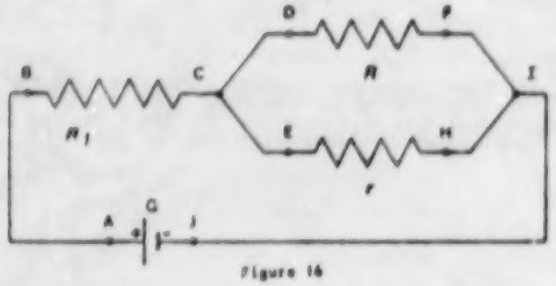


Figure 16

Q.8. : G est un générateur de résistance interne négligeable. R_1 est une résistance quelconque. R et r sont des résistances; R est plus grand que r.

a) L'intensité du courant dans la portion CD est-elle identique, plus grande ou plus petite que l'intensité du courant dans la portion CE ?

b) L'intensité du courant dans la portion FI est-elle identique, plus grande ou plus petite que l'intensité dans la portion HI ?

Tiré de J.L. Closset, op. cit. p. 118.

---

154. Idem, pp. 237-238.

155. Idem, p. 111.

d) Quelques résultats

L'expérimentation et la mise à l'épreuve du modèle ont montré que le raisonnement séquentiel guide les réponses des sujets non seulement dans le cas des circuits série mais aussi dans celui "des circuits "parallèles" et des circuits mixtes (série-parallèles)"; il serait "responsable de toute une série d'erreurs"[156].

Ainsi, selon certaines réponses recueillies chez des élèves de l'élémentaire, le courant s'userait en passant dans une résistance. Et des sujets plus avancés ne tiennent pas compte "de l'effet, sur le reste d'un circuit, de la modification d'une branche d'un groupement en parallèle"[157]. Bien d'autres types d'erreurs sont mentionnés par l'auteur.

J.L. Closset conclut qu'il a mis en évidence "un mode de raisonnement probablement très général", auquel font appel les étudiants devant toute une série de problèmes. Voulant "établir l'existence de ce raisonnement", explique-t-il, il a "exploité les situations les plus susceptibles de le faire se manifester (...). Cela ne signifie pas, continue-t-il, qu'il ne puisse exister des situations où le raisonnement séquentiel soit absent[158]."

Il serait possible, selon l'auteur "de mettre en évidence le raisonnement séquentiel dans d'autres domaines présentant des caractéristiques communes avec l'électrocinétique, tels que l'hydro-dynamique et la conduction de la chaleur"[159].

e) Quelques applications pédagogiques

Afin de ne pas favoriser ou ancrer le raisonnement séquentiel, J.L. Closset suggère de commencer à parler des circuits élec-

---

156, 157. Idem, p. 238.

158, 159. Idem, p. 242.

triques "en termes d'énergie, le circuit lui-même étant considéré comme une simple courroie de transmission"[160]. Il ne semble pas opportun d'introduire le concept de flux dans une première approche, puisque sa parfaite maîtrise requiert "la prise en compte d'une relation de proportionnalité au temps"[161] inaccessible à un grand nombre de jeunes élèves.

Que faire, face au raisonnement séquentiel lorsqu'il est déjà bien installé?

L'auteur ne propose pas de le détruire, ni de le faire évoluer en le rectifiant, ce qui lui semble utopique. Selon lui, "les raisonnements naturels sont pour l'essentiel indestructibles".

> "Ce qui peut apparaître localement comme une restructuration n'est en fait qu'une accommodation ne remettant pas en cause la structure fondamentale du raisonnement séquentiel."[162]

Il serait heureux que l'on ne puisse en général détruire les raisonnements séquentiels, "car ils sont souvent opératoires, utiles et dans certains cas, indispensables". La compatibilité de certains d'entre eux avec "des sous-ensembles de la connaisance scientifique" leur vaudrait plutôt d'être exploités[163].

Il importerait cependant de développer chez l'étudiant une "métaconnaissance", lui permettant, par un retour sur son raisonnement et une prise de conscience du "domaine de validité" de ce dernier, "de distinguer les situations où ce raisonnement est licite et celles où il doit en adopter un autre"[164]. À cette fin, on pourrait utiliser les questions élaborées par l'auteur, souligne celui-ci. Il serait indispensable également,

---

160, 161. Idem, p. 240.

162. Idem, p. 241.

163, 164. Idem, p. 241-242.

> "... de confronter les produits des raisonnements naturels, d'une part entre eux sur le plan de la cohérence interne du raisonnement, d'autre part avec les observations faites à partir d'expériences adaptées et réalisées au laboratoire de travaux pratiques."[165]

Un chapitre entier de la thèse de J.L. Closset est consacré à l'analyse des éléments qui renforcent le raisonnement séquentiel[166]. L'auteur étudie aussi les effets du recours au formalisme qui donne au raisonnement séquentiel "un vernis scientifique". Le formalisme justifierait l'erreur et la renforcerait[167].

Les deux recherches que nous évoquerons d'ici la fin de ce chapitre ont aussi trait à l'analyse du raisonnement. Il s'agira cependant d'une analyse effectuée à l'aide d'une grille s'inspirant explicitement de Piaget. L'une d'elle fait ressortir le décalage pouvant exister, comme nous l'avons déjà vu, entre formation théorique et capacités d'ordre pratique.

3. Analyse de la conduite de l'élève lors du montage d'un levier

Dans une brochure intitulée Comment analyser la conduite de l'élève adolescent ou adulte sous l'éclairage de la théorie de l'intelligence de Jean Piaget[168], des professeurs français de lycée présentent le compte rendu d'une séance de travaux pratiques effectués lors d'un séminaire. Au cours de cette séance, des enseignants de-

---

165. Idem, pp. 241-242.

166. Idem, p. 212-228.

167. Idem, p. 239.

168. Guihard L. et Séjournant S., Comment analyser la conduite de l'élève adolescent ou adulte sous l'éclairage de la théorie de l'intelligence de J. Piaget, Centre national de télé-enseignement, Vanves, 1979, 74 p.

vaient "dépouiller et essayer d'interpréter deux enregistrements vidéo portant sur (...) la réalisation d'un montage mécanique tiré du test des leviers de Meili"[169].

Les travaux pratiques ont été précédés d'une formation théorique donnée par le psychologue P. Vermersch. Celui-ci a dégagé les principaux niveaux de l'intelligence et les grandes lois de son fonctionnement, selon Piaget. Il a aussi initié les enseignants à une méthode d'analyse des conduites s'inspirant de ce dernier.

a) Quelques notions théoriques

Se référant à l'oeuvre piagétienne, P. Vermersch affirme que la "psychologie cognitive peut, à l'heure actuelle apporter au pédagogue, une connaissance systématique des principaux aspects du fonctionnement intellectuel"[170]. Il propose une approche qui veut prendre en compte toute la portée de l'oeuvre de Piaget notamment en ce qui concerne sa théorie opératoire de l'intelligence... Il formule l'hypothèse selon laquelle le sujet dispose en permanence d'une pluralité des registres de fonctionnement. Ces registres consisteraient en diverses façons d'organiser son action, selon que l'on utilise des "instruments sensori-moteurs, opératoires concrets, etc."[171]. Les propriétés des diverses classes d'instruments se modifieraient en fonction du stade auquel on est parvenu[172] (voir l'annexe, p. 149).

---

169. Idem, p. 25.

170. Vermersch P., Articulation entre pédagogie et psychologie cognitive: le point de vue du psychologue in Guihard et Séjournant, op. cit., p. 7.

171. Vermersch P., Introduction à l'analyse du fonctionnement cognitif; les données génétiques en Guihard et Séjournant, op. cit. p. 17 (compte rendu rédigé par Isabelle Nguyen).

172. Idem, p. 21.

b) La nature de la tâche, le matériel et la description de l'expérience

- La tâche

À partir d'une séquence de bande-vidéo, les enseignants devaient utiliser la méthode d'analyse des conduites qu'on venait de leur enseigner. La tâche ayant fait l'objet d'un enregistrement vidéo avait été tirée d'un test d'intelligence pratique. Ce test simule des situations d'apprentissage.

> "Le test se compose de treize problèmes de difficulté croissante, que les sujets sont appelés à résoudre l'un après l'autre, en ayant toujours connaissance de la solution des problèmes précédents. L'épreuve choisie intervient à mi-parcours; c'est le problème no 6."[173]

On utilise couramment le test de Meili pour sélectionner des apprentis mécaniciens. Ceux-ci ont autour de quatorze ans.

- Le matériel utilisé

Le matériel comporte une plaque de mécano percé de trous, des barrettes à 5, 4, 3 et 2 trous ainsi que des pivots et des axes. Les axes fixent les barrettes à la plaque, alors que les pivots, plus petits que les axes, relient les barrettes entre elles sans s'insérer dans la plaque. Il découle des propriétés du matériel qu'une barrette se mouvant autour d'un axe peut jouer le rôle d'un levier. On sait en effet que:

> "... toute force agissant sur un bras de levier engendre un déplacement dans le même sens que ce bras, et un déplacement en sens contraire du second bras de levier, dès lors que celui-ci se situe au-delà de l'axe."

---

173. Guihard L. et Séjournant S., Un exemple de formation pratique à l'étude approfondie des conduites-in "Comment analyser la conduite de l'élève...", op. cit., p. 31.

- La description de l'expérience

Au départ, l'expérimentateur place sur une table une plaque de mécano, au bas de laquelle il dispose horizontalement une barrette à 5 trous. Grâce à un axe, il fixe l'une des extrémités de celle-ci à la plaque (au point O1). Puis il pose sur cette dernière, perpendiculairement à la première barrette, une seconde barrette de même longueur (voir le modèle).

L'expérimentateur dit ensuite: "Je voudrais que, lorsque cette barrette à droite descend (action correspondante sur T1, figurée par la flèche 1), cette autre barrette monte (action correspondante sur T2, figurée par la flèche 2)". Il évitera de manipuler à la fois les deux barrettes et précisera que les barrettes doivent rester telles qu'elles sont au départ[174].

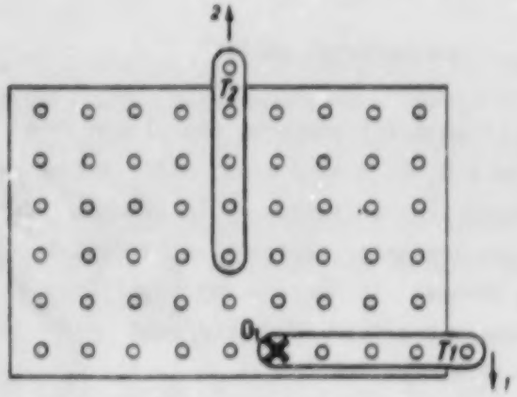


Fig. 1 (Tiré de Guihard et Séjournant, p. 34)

174. Idem, p. 35.

c) Quelques aspects de la tâche en cause et principaux résultats

Vu l'orientation de notre travail, nous n'examinerons pas ici tous les aspects de la tâche décrits par les auteurs. Nous nous bornerons à considérer les points suivants:

1. Le processus de montage prévu par le physicien
2. Les conduites attendues sur le plan intellectuel
3. Les principales caractéristiques des conduites observées

- Les processus de montage prévu par le physicien

Le problème posé a été reformulé comme suit:

> "Il faut réaliser un montage tel que, lorsque la barrette T1 est soumise à une action dans le sens de la flèche 1, qui la fait pivoter autour de O1, la barrette libre T2 glisse dans le sens de la flèche 2[175].

Pour effectuer le montage, il est nécessaire de construire un levier intermédiaire à l'aide d'une barrette. Celle-ci doit être fixée à la plaque par un axe en son milieu; elle pourra donc osciller autour de cet axe. Cette barrette L (voir la fig. 2) sera reliée directement à la barrette T2 et indirectement à la barrette T1 grâce à la barrette V, parallèle à T2. L'inversion du sens du mouvement découlera de la position de l'axe.

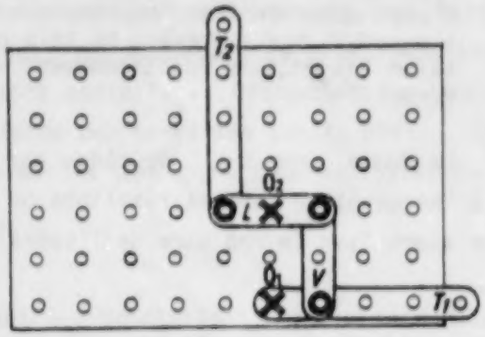


Fig. 2 (Tiré de Guihard et Séjournant, p. 34)

175. Idem, p. 36.

La construction du levier exige donc l'utilisation de deux autres barrettes (L et V), de trois pivots (aux articulations) pour transmettre le mouvement et d'un axe afin d'en inverser le sens. L'ensemble doit être conçu de sorte que "le mouvement soit correctement transmis, inversé et transformé"[176].

- Les conduites attendues sur le plan intellectuel

Pour analyser les conduites attendues sur le plan intellectuel, il convient de tenir compte du registre de fonctionnement qu'implique la tâche et de celui qu'induit sa présentation.

- Le fonctionnement requis

Une analyse des propriétés de la tâche a été faite par les enseignants. Le montage demandé exigerait que le sujet ait saisi, "au cours des épreuves précédentes, et les propriétés du matériel disponible, et la nécessité d'un levier".

Une réussite d'emblée supposerait de plus qu'avant d'agir, le sujet puisse construire et faire fonctionner mentalement tout un système mécanique.

> "Cela implique toute une série de calculs sur le plan de la représentation (à partir d'un levier imaginaire), avec mise en jeu d'un raisonnement hypothético-déductif (allant du possible au réel) et d'une combinatoire (coordonnant chaque action à l'ensemble des autres). De tels calculs requièrent, selon Piaget, un fonctionnement de type opératoire formel."[177]

Le sujet peut aussi procéder par essais successifs et s'appuyer à chaque étape sur les résultats qu'il obtient. Sa conduite se réglera alors "sur le registre de l'opératoire concret"[178].

---

176. Idem, p. 36.

177, 178. Idem, p. 41.

- Le registre de fonctionnement et la présentation de la tâche

Constitué d'objets susceptibles d'être touchés et déplacés, le matériel peut, de prime abord, inciter le sujet à de simples manipulations. La figure incomplète formée par les deux barrettes disposées sur la plaque peut aussi l'induire à "régler son action sur le registre figural"[179]. Il ne verra alors, dans le problème à résoudre, qu'une question d'assemblage et cherchera à compléter la figure en reliant les barrettes. D'autres traits d'un comportement préopératoire pourront aussi se manifester, (par exemple, un manque de coordination dans la séquence des actions).

L'analyse des conduites attendues sur le plan psychologique permettra, souligne l'auteur, "d'organiser la lecture des conduites (...) en se référant à des critères précis, tirés des travaux de Piaget"[180]. Le dépouillement de la bande vidéo ne visera donc pas à être exhaustif, mais plutôt à relever les indicateurs du registre de fonctionnement en cause.

- Les principales caractéristiques des conduites observées

En soi, les résultats obtenus ne revêtent que peu d'intérêt puisqu'ils ne concernent que deux sujets. Il peut être intéressant de signaler cependant que la méthode d'analyse utilisée a permis de déceler chez les deux sujets un comportement de type figural[181]. Lors des deux premières réponses, se manifeste une étroitesse du champ de perception: seuls les éléments les plus immédiatement perceptibles de la tâche sont assimilés. Les sujets ne semblent tenir compte que de la disposition des barrettes sur la plaque, de l'espace intermédiaire ainsi que de "la possibilité de manipuler le matériel,

179, 180. Idem, p. 42

181. Guihard L. et Séjournant S., Conclusions d'ordre méthodologique, de la confrontation des protocoles-in "Comment analyser la conduite de l'élève", op. cit., p. 63.

de façon à réaliser un assemblage, voire une simple configuration"[182]. Ils ne différencient pas le rôle des axes et des pivots, bien qu'ils aient dû apprendre à les distinguer lors des problèmes précédents. Chez eux, la rétroaction est donc faible. De plus, on ne relève dans leur conduite "aucune trace de calcul des actions successives à accomplir pour obtenir les mouvements demandés"[183].

Et après un échec au premier essai, les deux sujets procèdent à peu près de la même façon. Ils réagissent toujours "au coup par coup, en fonction de centrations successives très restreintes"[184], sans considérer l'ensemble de la tâche.

La rétroaction est très courte et très globale. "Qu'ils réussissent ou qu'ils échouent, les sujets ne se l'expliquent jamais qu'en gros: par la forme générale du montage (...) ou par la seule présence d'un axe."[185].

L'anticipation aussi reste globale: tant qu'ils ne les ont pas essayés, les deux jeunes apprentis-mécaniciens ne peuvent se prononcer sur le succès de leurs montages. Ils ne parviendraient donc pas à s'en représenter le mouvement.

De plus, les auteurs relèvent dans les protocoles, une "absence de stabilité". Les sujets répondent aux difficultés par des "actions ponctuelles", qui tendent à déplacer la perturbation plutôt qu'à l'annuler ou à la compenser[186].

Ils ne feraient donc pas preuve, au cours de l'expérience, d'un raisonnement de type opératoire. Ce niveau ne sera pas atteint non plus, au départ, dans l'exercice décrit ci-dessous relatif au maniement d'un oscilloscope.

182, 183. Idem, p. 65.

184, 185. 186., Idem, p. 66.

4. Analyse de la conduite lors de l'apprentissage du maniement d'un oscilloscope

Le psychologue P. Vermersch, a aussi appliqué l'hypothèse des registres de fonctionnement cognitif à l'analyse des conduites observées dans d'autres situations, par exemple, lors de l'apprentissage du maniement d'un oscilloscope cathodique.

Une série d'études sur ce sujet ont été faites par Vermersch en 1975, chez des adultes stagiaires dans un centre de l'A.F.P.A. Au cours d'une séance de travaux pratiques, on a enregistré plusieurs sujets à diverses phases de l'apprentissage. Ceux-ci devaient régler "l'appareil de façon à obtenir une trace nette et stable sur l'écran cathodique"[187].

a) Conduite de départ

Les sujets avaient reçu une formation théorique très complète sur les différents aspects de l'oscilloscope. Cependant, au départ ou encore après une demi-heure de travaux pratiques, ils adoptent une conduite apparemment incohérente, utilisant tous les boutons plusieurs fois, dans tous les sens. Il semble donc qu'au cours de cette phase, seul le registre sensori-moteur soit mobilisé, puisque seules les propriétés physiquement présentes de l'objet sont considérées.

En effet, si les sujets se situaient sur le plan de la représentation, ils considéraient le bouton d'oscilloscope comme "un "signe-objet", renvoyant à la propriété qu'il met en jeu dans le réglage, propriété qui n'est pas manifestée par le bouton"[188]. Les manipulations reflétant une assimilation des propriétés de l'oscilloscope peuvent être facilement déterminées.

---

187. Vermersch P., Une application de la théorie opératoire de l'intelligence de J. Piaget aux problèmes de formation, Education permanente, 51, déc. 1979, p. 13.

188. Idem, p. 14.

b) Conduite au cours de la séance

Au cours de la séance, toutefois, les stagiaires progressent et, à la fin" "seuls les boutons pertinents sont utilisés; ils sont positionnés une seule fois", approximativement. Ils ne seront "plus touchés que pour le réglage final"[189]. On a même pu observer, note l'auteur "à propos de la lecture du signal, des faits qui illustrent la construction de nombreux invariants chez l'adulte, en même temps que leur nécessité pour le fonctionnement opératoire"[190]. Le lecteur trouvera plus de détails sur ce point dans l'article intitulé Une application de la théorie opératoire de l'intelligence de J. Piaget aux problèmes de formation.

Conclusion

L'intérêt de l'article que nous venons de résumer semble être de démontrer les difficultés du passage des connaissances théoriques, notamment scientifiques, aux applications concrètes et d'illustrer le cheminement que peuvent emprunter des élèves dans l'apprentissage d'un objet technique.

Sur le plan des applications pédagogiques, il faut souligner avec l'auteur que l'utilisation d'une méthode de diagnostic s'appuyant sur le modèle des registres de fonctionnement pose dès interrogations nouvelles en regard de l'établissement d'une progression dans l'enseignement. Ne faudrait-il pas "concevoir l'exercice lui-même pour qu'il permette le diagnostic d'une façon aisée"[191]. Cela nous semble particulièrement important si l'on veut éviter des apprentissages purement mécaniques, et favoriser chez l'élève l'accès à une connaissance des objets techniques reposant sur l'assimilation de concepts scientifiques.

---

189. Idem, p. 15.

190. Idem, p. 19.

191. Idem, p. 26.

Dans cette perspective, il ne faut pas oublier ainsi que le suggère B. Gillet, le rôle de "l'abstraction réfléchissante", c'est-à-dire de celle que le sujet effectue à partir de ses propres actions relatives aux objets. Non moins important aussi est le rôle de la "concrétisation" ou du retour vers le réel, permettant de vérifier les hypothèses formulées ou d'appliquer les notions acquises. Mais ne serait-ce pas là, en filigrane, l'essence même de la démarche à suivre dans l'acquisition des premières connaissances scientifiques?

Des réflexions regroupant, sous l'angle des processus d'apprentissage et des méthodes d'enseignement, les principaux résultats de recherche rapportés dans ce chapitre seront insérées à la fin de cet ouvrage. Cependant, on peut se rendre compte déjà de l'importance que semble revêtir le recours à l'observation et à une démarche hypothético-déductive menant à une vérification concrète des hypothèses. S'agirait-il là d'une démarche à suivre peut-être uniquement dans l'initiation aux objets techniques ou conviendrait-il d'initier à la méthode expérimentale l'ensemble des élèves de l'enseignement professionnel et plus particulièrement certains d'entre eux? C'est la question qui a suscité la rédaction du chapitre qui suit.

CHAPITRE CINQUIÈME

MÉTHODE SCIENTIFIQUE ET FORMATION PROFESSIONNELLE

Introduction

Lorsqu'on considère la matérialité des tâches de l'ouvrier spécialisé, on peut se demander si l'on doit initier celui-ci à la démarche scientifique. Pour résoudre des problèmes techniques, l'ouvrier spécialisé et le technicien doivent-ils connaître la méthode expérimentale, qui caractérise la démarche scientifique?

Ces questions amènent à examiner les traits distinctifs et les ressemblances de la démarche scientifique, de la pensée technique et de la pensée commune ainsi que les particularités de la démarche expérimentale.

Si l'on admet que la méthode expérimentale, créatrice de la science, peut être utilisée dans le domaine de la technologie, on pourra s'interroger sur les qualités que doivent revêtir les expérimentations dans l'enseignement professionnel et sur les domaines dans lesquels on peut les conduire.

On se demandera aussi quels moyens pédagogiques favorisent l'initiation à la méthode expérimentale et quelle forme d'évaluation pourrait lui convenir.

Telles sont les questions qui seront abordées dans ce chapitre.

A. Caractéristiques de la démarche scientifique, de la pensée technique et de la pensée commune

1. La démarche scientifique

a) Description générale

Si l'on examine son élaboration collective à travers l'histoire, on peut dire que la science se construit et progresse grâce à la résolution de problèmes. Cherchant à comprendre l'univers, l'être humain formule des hypothèses quant à son organisation et en tire des prédictions concernant divers phénomènes.

Si les hypothèses se vérifient dans les faits, elles sont renforcées; en cas contraire, elles sont infirmées. Des modèles explicatifs se construisent ainsi, et accroissent la maîtrise potentielle de l'homme sur la nature.

La démarche scientifique s'est affinée au cours des siècles. Actuellement, on y distingue généralement deux phases: la phase de l'induction et la phase hypothético-déductive.

- La phase de l'induction

Certains êtres ou phénomènes naturels ou encore certaines expériences donnent lieu à des observations. La comparaison de nombreuses observations permet de découvrir des similitudes, des régularités et d'énoncer des généralisations, sous forme de lois.

Les observations scientifiques sont exprimées en termes quantitatifs et leur formulation est liée à un ensemble de connaissances, parfois même à des théories. Ainsi en est-il par exemple, de l'idée abstraite du volume occupé par un gaz[1].

---

1. Duhem P., La théorie physique, Paris, Rivière, 1914, p. 221.

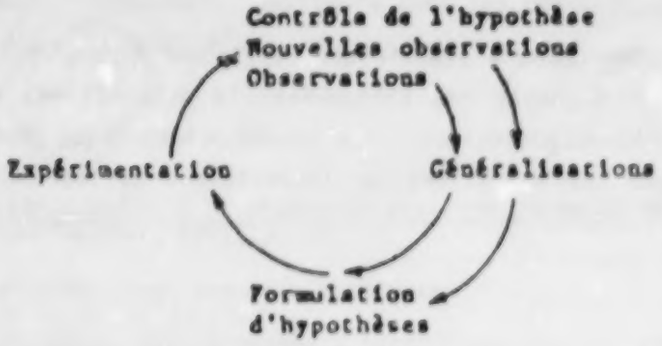
Comme exemple de généralisation, on peut citer la loi de Boyle, qui décrit le comportement des gaz en recourant à l'équation PV = constante.

- La phase hypothético-déductive

À partir des généralisations, on peut dégager des conclusions, formuler des hypothèses et les confronter à de nouvelles observations. Pour ce faire, il est possible de recourir à des expérimentations exigeant le contrôle d'une ou de plusieurs variables et l'élaboration d'un plan de recherche.

Les résultats obtenus infirmeront ou confirmeront l'hypothèse. Même si elle est confirmée, l'hypothèse, en général, "n'accédera que progressivement au rang de théorie scientifique; cette accession ne se fera qu'en fonction du nombre et de la précision des observations qui témoignent en sa faveur"[2].

Souvent, comme l'illustre le schéma que voici, l'hypothèse est "vouée à entrer en combinaison avec d'autres résultats de l'exploration du réel, et donc à disparaître dans de nouvelles hypothèses"[3].



2, 3. Fourastié Jean, Les conditions de l'esprit scientifique, Paris, Gallimard, 1966, p. 41.

Comme exemple d'hypothèse explicative, on peut citer celle d'Avogadoro, formulée à la suite d'expériences montrant que des volumes égaux de gaz se combinent parfaitement. Cette hypothèse se présente comme suit: "Des volumes égaux de gaz mesurés dans les mêmes conditions de température et de pression, contiennent le même nombre de molécules".

b) Quelques caractéristiques de la connaissance scientifique

L'unité de base de la connaissance scientifique est le concept. On ne peut le définir sans tenir compte de ses relations avec ses voisins. Dans les sciences exactes, les concepts sont pour la plupart quantitatifs; des grandeurs mesurables y correspondent[4]. Les lois établissent des relations entre divers concepts et expriment des généralisations. Un ensemble articulé de lois devient, après de nombreuses vérifications, une théorie provisoirement acceptée.

La théorie pourra être remise en question par de nouvelles expériences. Bien que très élaborée et hautement structurée, la connaissance scientifique "inscrit le doute dans ce qui fait son essence"[5]. Elle veut être, autant que possible, "totalement explicite, destinée à être transmise et discutée"[6].

Cherchant à établir des relations* entre les faits et à découvrir les causes des phénomènes, le scientifique s'achemine vers des synthèses abstraites. "La pensée scientifique place les phénomènes dans des conditions de laboratoires telles qu'ils deviennent

---

4, 5, 6. Closset J.L., Le raisonnement séquentiel en électrocinétique, Thèse présentée à l'Université Paris VII en vue de l'obtention d'un doctorat de 3e cycle, Paris, 1983.

* Cf. Jean Fourastié, p. 164. Il peut s'agir de "relations aléatoires", de "relations conditionnées" et de "relations déterminées".

abstraits."[7]* Autrement dit, "le scientifique s'efforce d'élaborer des modèles généraux pour expliquer et annoncer les phénomènes naturels"[8].

Les modèles ou les théories "constituent des outils plus ou moins utiles pour expliquer un phénomène"[9]. Ils ne doivent donc pas être considérés comme des dogmes et enseignés comme tels. Ils doivent cependant correspondre aux observations et être décrits avec précision.

Pour illustrer les idées qui viennent d'être énoncées, Hugh Munby évoque le concept des trous noirs, "ces objets sidéraux qu'on ne peut voir ou percevoir en aucune façon, sinon par le fait que la gravitation y est si grande que rien n'y échappe, pas même la lumière..."[10]. Comme l'explique l'auteur:

> "Les astronomes n'affirment pas vraiment que les trous noirs existent dans l'Univers, quand ils disent que c'est la seule hypothèse cohérente permettant d'expliquer certains phénomènes; et ils confèrent à ces trous noirs des propriétés qui ne contredisent aucune des principales caractéristiques de notre modèle d'Univers."

Les concepts, théories et modèles sont des inventions de l'esprit humain. Cependant, "meilleurs sont les concepts, mieux ils semblent exprimer la réalité".

---

7. Postic M., Introduction à la pédagogie des enseignements techniques, Paris, Editions Foucher, 1971, p. 25.

* L'idée de gaz parfait est une idée abstraite.

8. Munby A.H., Qu'est-ce que la pensée scientifique? Ottawa, Conseil des sciences du Canada, mars 1982, p. 23.

9. Idem, p. 25.

10. Idem, p. 24

Procédant par résolution de problèmes, la démarche scientifique se caractérise, nous semble-t-il, par l'établissement de modèles généraux, de synthèses abstraites visant à comprendre, expliquer et prévoir les phénomènes naturels.

c) La démarche scientifique et l'enseignement professionnel

Revenons maintenant à notre question de départ. Les élèves de l'enseignement professionnel au secondaire et les futurs techniciens doivent-ils connaître l'essentiel de la démarche scientifique? Oui, peut-on répondre, si l'on admet qu'ils doivent connaître les concepts scientifiques sous-jacents aux techniques et aux objets techniques qu'ils utilisent dans leur métier. Certains de ces concepts sont susceptibles d'évoluer et il importe que les élèves sachent qu'il peut en être ainsi, puisque les concepts scientifiques ne sont pas des dogmes.

Et il convient de se demander dès maintenant si la pensée technique n'intégrerait pas certains éléments fondamentaux de la démarche scientifique.

2. La pensée technique

On conviendra aisément, sans doute, que les futurs ouvriers spécialisés et techniciens doivent posséder au moins les rudiments de la pensée technique. C'est pourquoi nous tenterons de décrire brièvement celle-ci en insistant sur ses principales caractéristiques.

a) Les caractéristiques de la pensée technique

D'après Marcel Postic, l'auteur d'un ouvrage intitulé Introduction à la pédagogie des enseignements techniques, ce qui caractérise la pensée technique, "c'est l'étude rationnelle d'un problème posé par un besoin et la recherche méthodique de solutions concrètes

en vue d'une action"[11]. Dans l'analyse d'une situation concrète, la pensée technique doit tenir compte de tous les facteurs en cause.

> "Par exemple, le simple choix de garnitures de piston ne se fait pas seulement d'après la nature des fluides et leur température, mais s'opère aussi d'après des critères d'économie: possibilité de les fabriquer avec un matériau présentant les caractéristiques exigées et d'un prix de revient satisfaisant, etc."[12]

De descriptive qu'elle était, continue le même auteur, "la technologie est devenue réflexive"[13]; elle s'intéresse à la démarche intellectuelle qui préside à la conception et à la réalisation des objets techniques; "elle établit des liens entre les sciences et la technique, entre les principes scientifiques et les conditions de la réalisation pratique"[14].

b) Les deux versants de la technologie

La technologie comporterait deux versants dont l'un serait orienté vers l'abstraction, l'analyse, alors que l'autre chercherait "essentiellement à organiser les modes de production et les meilleures conditions de fonctionnement des objets techniques". Elle serait alors tournée vers la "synthèse concrète, la création"[15].

Dans le mouvement qui l'oriente vers l'analyse, l'abstraction, la pensée technique calque sa démarche sur celle de la pensée scientifique, note Marcel Postic. Cela se produit, par exemple lorsque, pour les comprendre et les mesurer, on isole les propriétés des matériaux.

> "Par là, la technologie est toute proche des sciences expérimentales. Elle part du fait posant pro-

---

11, 12. Postic Marcel, Introduction à la pédagogie des enseignements techniques, Paris, Les Editions Foucher, p. 25.

13, 14, 15. Idem, p. 26.

> blème (par exemple déterminer la résistance de tel type d'acier à la traction); elle l'extrait de la situation complexe de l'atelier pour l'examiner dans des conditions spéciales facilitant l'analyse et la mesure; elle réduit les composantes de ce fait à quelques facteurs nettement discernables, elle fait varier ces facteurs un à un; elle cherche à dégager une loi générale qu'elle exprime en une formule que le technicien appliquera à toutes sortes de cas particuliers."[16]

D'autre part, lorsqu'elle cherche à mieux organiser la production et à améliorer le fonctionnement des objets techniques, la pensée technique doit recourir aux lois scientifiques et souvent les combiner entre elles. Elle doit prévoir les diverses solutions possibles, que l'on peut assimiler à des hypothèses, et les vérifier, souvent en contrôlant divers facteurs. Elle adapte alors une démarche qui souvent, nous semble-t-il, se confond avec la démarche expérimentale.

3. La pensée commune

Dans un récent ouvrage intitulé Le raisonnement séquentiel en électrocinétique, J.L. Closset présente "le mode de la connaissance commune" comme une "composante du mode de la connaissance humaine" se situant à côté "du mode de la connaissance scientifique"[17]. La connaissance humaine comporte aussi d'autres modalités, telles que le rêve ou le mythe[18].

La pensée commune se satisfait en général d'un nombre d'observations plutôt faible, "parfois même d'une observation unique réalisée sans prendre en compte explicitement son contexte et pratiquement jamais provoquée"[19]. Elle se borne à expliquer l'immédiat,

---

16. Idem, p. 26

17, 18, 19. Closset, J.L., Le raisonnement séquentiel en électrocinétique, Thèse présentée à l'Université Paris VII, en vue de l'obtention d'un doctorat de 3e cycle, Paris, 1983, p. 8.

à prévoir le quotidien et à guider l'action, sans expérimentation systématique. Comme en fait foi le langage courant, notamment en français, elle distingue cependant le probable du simplement possible. Il est à noter que cette distinction n'est pas maîtrisée par tous les élèves du secondaire, comme le montre la thèse de doctorat soutenue à Lyon par l'auteur de ces lignes en 1980[20].

Si elle est renforcée par le vécu quotidien, la connaissance commune devient vite "non-questionnable", souligne Closset.

> "Les faits nouveaux vont de ce fait, être ramenés au connu par un système plus ou moins complexe d'explications (...). Rarement des connaissances nouvelles remettront en cause la connaissance antérieure, l'individu allant même parfois jusqu'à nier l'expérience."[21]

Ainsi, la connaissance commune est-elle, "incomplètement structurée"[22] même si elle procède par résolution de problèmes. Parfois cependant, son utilisation est plus efficace et rapide que l'application des données scientifiques dont nous disposons.

B. Importance de la démarche expérimentale dans l'enseignement professionnel, exemples-types et particularités de cette démarche

1. Importance de la démarche expérimentale

L'importance de l'initiation à la méthode expérimentale dans le cadre de l'enseignement professionnel découle de la nature même de

---

20. Labonté Thérèse, Différenciation du possible et du probable et emploi des modes: contribution à l'étude du développement cognitif durant la scolarité, Thèse présentée à l'Université Lyon II en vue de l'obtention d'un doctorat de 3e cycle, Lyon 1980.

21, 22. Closset J.L., Le raisonnement séquentiel en électrocinétique, Thèse présentée à l'Université Paris VII en vue de l'obtention d'un doctorat de 3e cycle, Paris, 1983, p. 9.

la pensée technique. Souvent les problèmes auxquels celle-ci est confrontée ne sauraient être résolus par le mode de la connaissance commune ou de l'empirisme.

D'autre part, puisque les élèves du secteur professionnel doivent manier des concepts, lois et théories scientifiques, il convient de leur faire connaître la méthode qui a présidé à l'élaboration de ce savoir. C'est donc à double titre que ces élèves devraient apprendre à manier la méthode expérimentale.

2. Schéma d'une expérimentation bien conduite, exemples-types et particularités de la démarche expérimentale

Avant de nous interroger ici sur les qualités que doivent revêtir les expérimentations dans l'enseignement professionnel, nous présenterons en les simplifiant deux exemples-types de démarche expérimentale et les ferons précéder du schéma d'une expérimentation conduite dans sa forme rigoureuse, selon R. Buyse. Nous tenterons aussi de dégager quelques opérations de pensée solidaires de cette démarche.

a) En quoi consiste une expérimentation bien conduite

Dans sa forme rigoureuse, une expérimentation bien conduite consiste:

1) "à dépister toutes les circonstances capables d'influencer le fait étudié (variables ou facteurs);

2) "à les contrôler toutes exactement, soit en les mesurant, soit en les neutralisant, soit en les éliminant;

3) "à faire agir pendant un temps précis un facteur expérimental strictement mesuré (c'est la variable expérimentée);

4) "à mesurer le fait en question avant et après l'action du facteur expérimental;

5) "à comparer ces deux données et à en interpréter la différence."[23]

b) Exemples-types de démarche expérimentale

- Expérience faisant appel à la combinaison et à la dissociation de facteurs

Le problème: Quels facteurs interviennent dans la flexibilité de tiges de métal?

Démarche expérimentale: Principales opérations:

1) identifier les facteurs susceptibles d'intervenir (matière, longueur, épaisseur, température, forme de section, et à conditions égales, poids placé aux extrémités libres des tiges comparées);

2) rendre les facteurs opérationnels. Disposer d'un appareil permettant de fixer les tiges et d'un jeu de tiges différant par:

. leur longueur (v.g. 50cm ou 20 cm) (p)
. leur matière (v.g. acier ou laiton) (r)
. leur épaisseur (s)
. le poids à suspendre, etc. (q)
. la forme de section, etc. (t)

3) préciser l'hypothèse en établissant un plan expérimental, c'est-à-dire prévoir quels facteurs ou combinaisons de facteurs on fera

---

23. Buyse Raymond, L'expérimentation en pédagogie, Bruxelles, Lamertin, 1935, p. 187.

varier successivement en maintenant les autres constants v.g. faire varier le facteur "p" en ne modifiant pas les autres (p.q.r.s.t.x) v ($\bar{p}$.q.r.s.t.$\bar{x}$);

4) procéder à la vérification toutes choses égales d'ailleurs, en faisant varier la longueur (utiliser deux tiges de longueurs différentes) et les autres facteurs ou combinaisons de facteurs;

5) mesurer et enregistrer l'action du facteur expérimental.

- Expérience exigeant la combinaison de divers facteurs

L'expérience que voici porte sur des éléments qu'il est nécessaire de combiner pour obtenir un résultat. Effectuée avec la collaboration de G. Noëlting, elle a été rapportée par J. Piaget et B. Inhelder dans l'ouvrage intitulé De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent[24]. Nous n'en présenterons très brièvement que le problème de base ainsi qu'une esquisse du plan expérimental.

Le problème: Lesquels des quatre liquides incolores et inodores (à manipuler avec un compte-gouttes) peuvent donner une couleur jaune à un cinquième liquide? Lesquels peuvent décolorer le mélange?

Le cinquième liquide ("g") contient de l'iodure de potassium. Pour les quatre autres, il s'agit, en l'occurence d'acide sulfurique dilué, d'eau, d'eau oxygénée et de thiosultate. Puisqu'en milieu acide, l'eau oxygénée oxyde l'iodure de potassium, la solution peut se formuler comme suit: 1 + 3 + g. Le thiosulfate décolore le mélange.

---

24. Piaget J., Inhelder B., De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent, Paris, P.U.F., 1970, pp. 97-117.

Le plan expérimental: Prévoir toutes les combinaisons possibles avec "g"

1 X 2	2 X 3	1 X 2 X 3
1 X 3	2 X 4	1 X 2 X 4
1 X 4	3 X 4	1 X 3 X 4, etc.

c) Quelques opérations mentales solidaires de la démarche expérimentale

Si l'on analyse quelque peu la démarche intellectuelle suivie dans les deux expériences évoquées précédemment, on pourra en s'inspirant de Piaget, mettre en évidence certaines opérations mentales, notamment les suivantes, qui seront accompagnées d'exemples:

- la disjonction: "c'est la longueur ou l'épaisseur";
- la négation conjointe: "ce n'est ni le liquide "2", ni le liquide "4";
- la conjonction: "la longueur et l'épaisseur interviennent";
- l'implication: "1 + 3 + g donnent un liquide coloré";
- l'équivalence: "une tige d'acier carrée et fine peut avoir une flexibilité égale à celle d'une tige de laiton carrée et plus épaisse".

d) Quelques qualités des expérimentations dans l'enseignement professionnel

Comme le souligne l'ouvrage intitulé La pédagogie devant le progrès technique, les expérimentations, dans le champ de la technologie "doivent être correctement conduites, probantes, utiles". Autrement dit, elles doivent se conformer aux exigences de la méthode expérimentale et être ainsi réellement formatrices, se prêter à des interprétations claires et à des conclusions nettes et permettre de dégager des principes généraux et des règles qui peuvent s'étendre à

plusieurs types de travaux[25]. Voici maintenant un bref aperçu de divers domaines technologiques susceptibles de se prêter à l'utilisation de la méthode expérimentale.

C. Champs d'application de la méthode expérimentale ou de certains de ses éléments

Dans l'ouvrage intitulé La pédagogie devant le progrès technique, Canonge et Ducel distinguent trois grands domaines technologiques sujets à des expérimentations, à savoir:

1. La construction des objets techniques

2. L'usinage ou le travail des machines

3. Les méthodes de travail

À cela, il convient d'ajouter le diagnostic de pannes ou de bris. En effet, le diagnostic peut recourir à une démarche calquant la méthode expérimentale.

Nous nous arrêterons en particulier au diagnostic de pannes de voitures. Vu ses analogies avec le diagnostic médical, nous tenterons de tirer de ce dernier des indications sur ses composantes. La section D de ce chapitre sera d'ailleurs consacrée au diagnostic.

Certains problèmes généraux liés à la gestion de l'entreprise (par exemple l'amélioration de la qualité et la diminution des coûts) seraient mieux résolus, selon des études récentes, si les employés de tous niveaux maîtrisaient la méthode expérimentale. Il en sera question en cinquième lieu, dans la présente section. Les commentaires qui suivent immédiatement s'inspirent de l'ouvrage de Canonge et Ducel.

---

25. Canonge Fernand et Ducel René, La pédagogie devant le progrès technique, P.U.F., 1969, p. 124.

1. La construction des objets techniques

Il est possible de considérer ici divers aspects ou éléments de la construction d'objets techniques. En voici quelques exemples:

a) La résistance des matériaux

La vérification des principes fondamentaux de la résistance des matériaux constitue un premier champ d'expérimentation (torsion et flexion simples, compression et traction).

Comme deuxième champ expérimental, on peut signaler "les constructions s'écartant du domaine de validité de la loi". On citera à titre d'exemple, le cas d'"une poutre en treillis reposant sur deux appuis"[26].

b) Les traitements thermiques

Les mesures effectuées avant et après les traitements thermiques ainsi que la mise en évidence des points de transformation s'intégreront aisément dans une démarche expérimentale.

c) Les solutions relatives à une même fonction

S'il s'agit d'obtenir, par exemple, l'étanchéité du plan de contact de deux brides serrées par des vérins, l'un mettant un fluide en pression, deux familles de solutions sont possibles[27].

La première vise à faire disparaître les défauts et les aspérites des brides soit par usinage, soit par rodage, soit par écrasement. La seconde préconisera l'interposition d'un matériau plastique.

---

26. Idem, p. 130.

27. Idem, pp. 131-135.

Ces solutions peuvent être obtenues à la suite d'expérimentations reposant sur des hypothèses. La vérification de celles-ci sera accompagnée d'observations critiques. Par exemple, si l'on utilise un matériau plastique pour combler les vides, on soulignera l'importance du bon état du joint. La pression intérieure, le fluide lui-même ou encore la température sont susceptibles de le détériorer. Cet exemple a donné lieu à une expérimentation au Lycée technique de Pau.

d) Les essais de prototypes

Dans un objet technique, chaque fonction prise isolément peut s'exercer de façon optimale sans que le résultat global soit de même niveau. De plus, il est difficile de concilier certaines fonctions (par exemple, pour une voiture, le confort et la tenue de la route). Le plus souvent, des compromis sont inévitables et "ne permettent pas d'affirmer a priori, que la fonction globale est atteinte dans les limites fixées"[28].

Pour connaître un objet technique dans toute sa réalité, l'expérimentation d'un prototype demeure le seul moyen valable. C'est aussi le meilleur moyen d'en révéler les défaillances, s'il y a lieu.

2. L'usinage ou le travail des machines

Le rendement d'une machine varie en fonction de divers facteurs. Il importe d'en connaître la dispersion afin de ne pas en exiger plus de précision qu'elle ne peut donner.

Il est donc nécessaire de connaître les possibilités de la machine sous charges faibles et moyennes, ainsi qu'en pleine charge

---

28. Idem, pp. 138-139.

et cela à des intervalles réguliers. On pourra mesurer "la précision des trajectoires des organes mobiles, l'importance des jeux, l'amplitude des vibrations, etc."[29].

Les problèmes à l'étude pourront être plus généraux et concerner l'usinage mécanique, par exemple les mécanismes de serrage, les déformations des pièces, des outils, les caractéristiques de ceux-ci et les paramètres en cause dans une opération d'usinage (vitesses et angles de coupe, etc.)[30].

3. Les méthodes de travail

Comme objets d'expérimentation relatifs aux méthodes de travail, Canonge et Ducel mentionnent les postes de travail, les circuits et chaines de montage et de fabrication, la comparaison de gammes d'usinage, la simplification et l'organisation du travail, le chronométrage, etc.[31].

Exécuter un travail peut être conçu, selon les auteurs, comme la vérification d'une hypothèse ...

> "La gamme d'usinage, la méthode d'exécution, la suite des dispositions à prendre constituent, comme l'hypothèse, une prédiction. "Tout se passera bien, et le résultat sera ce qu'on attend si l'on opère comme suit ..." Si le résultat est mauvais, c'est que l'on s'est trompé sur le rôle d'un facteur statique ou dynamique, ou sur l'enchaînement dans le temps et dans l'espace de divers facteurs."[32]

L'un des domaines où il importe de bien déterminer le rôle des facteurs et leur interaction est sans conteste celui du diagnostic, que nous aborderons maintenant.

---

29. Idem, p. 140.

30, 31. Idem, p. 141.

32. Idem, p. 126.

4. Le diagnostic

a) Un processus de diagnostic: description générale

Dans un article sur la définition des objectifs de formation dans l'enseignement technique, André Chamard de l'Académie de Caen, écrivait en 1976 que le mécanicien réparateur de matériels doit pouvoir:

- "s'informer"
- "diagnostiquer"
- "réparer"
- "essayer"
- "déterminer le coût des réparations"[33].

Pour diagnostiquer, explique plus loin l'auteur, "le mécanicien réparateur doit être capable à partir d'informations données ou captées, de formuler et ordonner des hypothèses, de contrôler la validité de ses hypothèses, d'exprimer clairement un diagnostic"[34].

Cette définition du diagnostic, élaborée par un spécialiste de la formation professionnelle, peut sembler aller de soi. Il faut noter cependant que bien des manuels et guides du maître ne l'ont pas formulée comme telle, et paraissent ignorer ses analogies avec la méthode expérimentale.

b) Un exemple tiré d'un manuel

D'autres manuels, toutefois, laissent percevoir en filigrane - avec quelques carences peut-être - une démarche semblable à celle que décrit Chamard. À titre d'exemple, référons-nous au manuel de

---

33, 34. Chamard André, Pour une didactique de l'action technique - Définir les objectifs de formation, L'ingénieur et le technicien de l'enseignement technique, 1 - 4, 1976, p. 10.

mécanique automobile de Crouze et en particulier à la section relative aux pannes de moteurs[35]. Cette section comporte trois chapitres titrés comme suit:

. Chapitre 42: "Appareils d'essais des moteurs"
. Chapitre 43: "Diagnostic des pannes de moteurs"
. Chapitre 44: "Mise au point des moteurs"[36]

Le chapitre 43, traite des diverses pannes pouvant affecter les moteurs; on y "explique ce qui peut les occasionner. On indique également comment y remédier"[37].

Le tableau qu'il comporte met en parallèle une énumération "des diverses défectuosités des moteurs, leurs causes possibles et les contrôles ou corrections à effectuer"[38]. Ces renseignements devraient permettre, selon les auteurs, de réparer plus rapidement les pannes.

> "Si on procède d'une manière logique, précise-t-on, il sera habituellement possible de découvrir rapidement la cause précise d'une panne."[39]

On souligne cependant que, dans ce tableau, l'énumération des pannes et de leurs causes possibles ne suit pas un ordre correspondant à leur fréquence.

La suite du chapitre, divisée en une douzaine de sous-sections, reprend chaque défectuosité-type de façon détaillée et en énumère les variantes possibles ainsi que les causes. La marche à suivre dans chaque cas est décrite avec précision.

---

35. Crouze W.H., Mécanique automobile, McGraw-Hill, 1979, 631 p.

36. Idem, p. 415.

37, 38, 39. Idem, p. 424

Par exemple, si le moteur ne tourne pas lorsqu'on tente de démarrer, on suggère d'allumer le plafonnier ou les phares avant une nouvelle tentative. Celle-ci peut donner lieu à l'une ou l'autre des observations suivantes: "1) les phares ou le plafonnier éclairent normalement; 2) leur lumière baisse très nettement;(3) leur lumière baisse légèrement; 4) ils s'éteignent, et 5) ils ne s'allument pas"[40].

On présente ensuite les causes possibles des anomalies dans chaque cas, en faisant ressortir parfois la cause probable ...

> "Si la lumière des phares ne baisse que légèrement, écouter le bruit venant de l'action du démarreur. (...) Si le démarreur fonctionne, il est probable que le pignon d'attaque ne s'engage pas avec le volant du moteur (démarreur type Bendix), ou la roue libre patine. Si le solénoïde fait entendre un bruit sec, mais si le démarreur ne tourne pas, il peut s'agir d'une batterie trop faible ou, plus probablement, d'une panne dans le démarreur. Le déplacer et procéder à sa vérification complète."[41]

Il ne s'agit ici, répétons-le, que d'un paragraphe de l'une des sous-sections du chapitre ... Que d'hypothèses à considérer, que de disjonctions, conjonctions ou autres opérations mentales à effectuer pour diagnostiquer une panne de moteur! Et le diagnostic dans d'autres secteurs technologiques peut être aussi complexe. Voyons brièvement quelles familles de métiers s'occupent principalement de la réparation de mécanismes et doivent, par conséquent, effectuer souvent des diagnostics.

c) Quelques catégories de réparateurs devant effectuer des diagnostics

Parmi les formations professionnelles préparant à un travail voué totalement ou en partie à la réparation de mécanismes, André Charmard mentionne les suivantes:

40, 41. Idem, p. 428.

- "Électrotechnique, toutes les options
- Installations sanitaires et thermiques
- Maintenance et dépannage de matériels électroniques
- Mécanicien réparateur de matériels (agriculture, travaux publics)
- Monteur dépanneur froid et climatisation
- Mécanicien en machines de bureau
- Mécanicien d'entretien
- etc."[42]

Tous ces opérateurs, souligne Chamard, utilisent "la même stratégie globale; ils s'informent, ils diagnostiquent, ils réparent, puis ils essaient"[43].

Qu'ils travaillent à la construction d'objets techniques ou qu'ils s'adonnent à leur entretien ou à leur réparation, les ouvriers spécialisés travaillent la plupart du temps au sein d'une entreprise. Or, leur participation serait souhaitable et exigerait la maîtrise de processus de solution de problèmes calqués sur la méthode scientifique.

5. Les problèmes généraux liés à la gestion de l'entreprise.

Dans les pays occidentaux et au Japon, on assiste à l'émergence plus ou moins rapide d'un nouveau paradigme en ce qui concerne l'organisation des entreprises. En France, on parlera par exemple de détaylorisation et l'on considérera notamment la coopération, la flexibilité et l'adaptabilité comme fort importantes à cause de la guerre économique[44].

42, 43. Chamard André, Pour une didactique de l'action technique et collégiale - Enseigner l'action de réparation, Quatrième partie, L'ingénieur et le technicien de l'enseignement technique, 4 - 1978, p. 27.

44. Labonté Thérèse, Un congrès à Chamonix, Canadian Vocational Journal, vol. 21, no 4, février 1986, pp. 6-9.

Aux États-Unis, les nouvelles conceptions et méthodes d'organisation se sont cristallisées en un mouvement appelé "Quality of Work Life" (QWL). En 1984, le Centre national de recherche sur la formation professionnelle publia un rapport intitulé The Changing Work Place - Implications of Quality of Work Life for Vocational Education[45].

Ce document se fonde sur une revue des récentes études et recherches relatives au sujet et sur des entrevues et observations effectuées dans neuf entreprises faisant une large part à la participation. C'est de ce travail que nous nous inspirerons dans ces lignes.

a) Origine et fondements du mouvement "Quality of Work Life"

Le mouvement "Quality of Work Life" s'insère dans un mouvement plus vaste qui se manifeste dans la société américaine. Celui-ci se caractérise par un ensemble de transformations des individus et de la société, conduisant à une plus grande démocratisation des institutions et à une participation accrue de tous les citoyens aux décisions affectant leur vie. Il repose notamment sur un sens plus aigu de la valeur de l'individu et de l'importance de ses besoins[46].

D'autre part, des changements survenus dans la structure de l'industrie américaine semblent justifier la croissance du mouvement QWL. À leur stade initial - c'est-à-dire au cours des années 60 et au début des années 70 - les activités reliées au mouvement QWL visaient surtout à améliorer le moral des ouvriers et à accroître leur satisfaction au travail. De façon directe, elles se préoccupaient peu de ce qui concernait la productivité.

---

45. Pratzner F.C., Russell J.F., The Changing Work Place, Implications of Quality of Work Life for Vocational Education - Research and Development Series No 249, The National Center for Research in Vocational Education, The Ohio State University, January 1984, 89 p.

46. Idem, pp. 9-11.

Or, au cours des années 70, le taux de croissance de la productivité* s'approcha de zéro. À la fin des années 70 et au début des années 80, les problèmes liés à la stagnation de la productivité (développement économique lent, haut taux de chômage et d'inflation, etc.) atteignirent les proportions d'une crise.

D'où cela provient-il? Parmi les causes profondes de cette situation, on peut relever le fait que l'Amérique se situe maintenant à l'intérieur d'une économie globale de plus en plus complexe et compétitive. La part de l'Amérique dans le marché mondial a décliné dans plusieurs domaines. On se rend compte qu'une production requérant une machinerie considérable et une main-d'oeuvre non spécialisée peut-être obtenue à moindre coût dans les pays en voie de développement[47].

D'autre part, on prend conscience qu'un système flexible de production, soucieux de s'adapter à la conjoncture économique permettrait à l'Amérique de s'intégrer plus avantageusement dans l'économie mondiale.

> "Flexible-system production is characterized by technological innovation, precision manufacturing, and customization of products. It demands a new style of management, emphasing teamworks instead of hierarchy and problem-solving instead of routinization."[48]

Se caractérisant par ses innovations technologiques, la précision de la fabrication et l'adaptation des produits aux besoins des clients, un système flexible de production exige un nouveau style de gestion faisant appel au travail d'équipe et à la solution de problèmes.

---

* Productivity growth rate"

47. Idem, pp. 12-13.

48. Idem, p. 13.

b) Quelques implications pédagogiques du nouveau modèle de gestion

Les firmes ayant adopté un mode de gestion participative ont, à l'égard des travailleurs, des exigences débordant la formation de base et la compétence technique. De plus en plus, ceux-ci ont besoin de connaissances et d'habiletés en ce qui concerne la solution de problèmes en groupe ainsi que l'organisation et la gestion de la production[49].

La solution de problèmes en groupe exige notamment des savoirs et des savoir-faire relatifs aux techniques de groupe, à la solution de problèmes et à la prise de décision. Le rapport mentionné ci-dessus, précise la nature des habiletés relatives à la solution de problèmes. Il s'agit d'un ensemble de procédés empruntés à la méthode scientifique:

> "Problem-solving skills build upon the scientific method. They entail problem identification, cause and effect analysis, data collection and analysis, generation of alternatives selection of solutions, implementation, and evaluation. These are the step most problem-solving groups or quality circles follows."[50]

On aura reconnu ici l'essentiel d'une démarche expérimentale, l'identification du problème, la recherche de ses causes, la collecte et l'analyse des données, la formulation de solutions possibles, le choix des solutions, leur mise à l'essai et leur évaluation.

Puisque les modes de gestion dont il vient d'être question semblent être en voie d'expansion et couronnés de succès, il conviendrait sans doute que les programmes de formation professionnelle se préoccupent d'intégrer les savoirs et les habiletés qu'ils exigent.

---

49. Idem, p. 21.

50. Idem, p. 26.

Le cadre de ce travail ne permet pas de traiter davantage de la question des modèles "post-tayloriens" d'entreprise. Divers ouvrages peuvent informer le lecteur de langue française sur le sujet. Qu'on nous permette de citer entre autres les livres suivants: La Bataille de la compétence[51] par Yves Cannac et la Cegos, Qualité de vie au travail: anti-stress et créativité[52] de Pierre R. Turcotte ainsi que Les cercles de qualité français[53] de Gilbert Raveleau.

Il est à noter que ce dernier ouvrage présente le diagramme causes-effet vulgarisé par le professeur japonais Ishikawa (voir en annexe, pp. 151-153). C'est l'outil le plus utilisé dans les cercles de qualité*. Facilitant le classement des idées et la réflexion en commun, il permet "de voter sur certaines causes, de construire des plans d'expériences, des essais pour qualifier les causes, et surtout, de mettre en évidence les liens de causalité entre plusieurs éléments d'un même effet"[54].

On le voit, la démarche proposée en ce qui concerne la solution des problèmes liés à la gestion d'entreprise est analogue à celle que nécessite grosso modo le diagnostic de pannes de moteurs. Mais qu'en est-il du diagnostic médical? Peut-on tirer des études

---

51. Cannac Yves et la Cegos, La bataille de la compétence, Paris, Éditions Hommes et techniques, 1985, 203 p.

52. Turcotte Pierre R., Qualité de vie au travail: anti-stress et créativité, Paris et Montréal, les Éditions d'organisation et les Éditions agences d'Arc Inc., 1983, 189 p.

53. Raveleau Gilbert, Les cercles de qualité français, Paris, Entreprise moderne d'édition, 1983, 221 p.

* "Un cercle de qualité est un petit groupe d'ouvriers ou d'employés, animé par le supérieur hiérarchique direct et composé de 5 à 10 acteurs volontaires du même atelier ou du même bureau. Guidés par l'animateur et par la hiérarchie de contact, ils se réunissent régulièrement (une fois par semaine ou par quinzaine) pour rechercher ensemble des solutions à des problèmes quotidiens qui les concernent et qu'ils choisissent." (Voir la référence 53, p. 15.)

54. Idem, p. 165.

sur ce sujet, des éléments que l'on pourra réinvestir dans la recherche sur la formation professionnelle? La prochaine section de ce chapitre devrait permettre d'apporter une première réponse à ces questions.

D. Le diagnostic de pannes et ses relations avec le diagnostic médical

1. Quelques ressemblances, à priori, du diagnostic médical et du diagnostic de pannes de voitures

a) Similitude de la structure de départ des problèmes à résoudre

Le diagnostic médical et le diagnostic de pannes de voitures visent tous deux à résoudre des problèmes incomplètement structurés au départ. Contrairement, par exemple, aux problèmes de mathématiques dont la formulation contient toutes les données nécessaires à leur solution, les problèmes de cette catégorie exigent, de prime abord, un complément d'informations. Celui-ci permettra d'en préciser la nature.

b) Recours à un examen et à un entretien avec le client

Face à un problème sommairement indiqué par le client, le responsable du diagnostic de pannes de voitures doit interroger ce dernier sur les origines et les modalités de la défectuosité. Il se livrera aussi à un examen de la voiture ou de certaines de ses parties. Le réparateur d'appareils électro-ménagers procèdera grosso modo de la même façon.

Cette démarche, même si l'objet en est moins important qu'en médecine, ressemble beaucoup à celle du clinicien, qui doit à la fois examiner et interroger son patient. Mais qu'en est-il exactement des caractéristiques des habiletés cliniques ou du diagnostic médical?

2. Les habiletés cliniques

a) Diversité des approches utilisées pour décrire ces habiletés

Afin de caractériser les savoirs et savoir-faire dont doivent faire preuve les cliniciens, on a eu recours à diverses approches. Dès l'antiquité, des considérations philosophiques ont été formulées sur les qualités qu'ils doivent posséder. On peut se référer, par exemple, à des écrits de Platon et d'Hippocrate. Une approche fondée surtout sur la réflexion personnelle se retrouve aussi à notre époque chez divers auteurs.

Contrairement à cette approche, l'analyse de tâches repose principalement sur une base pragmatique. Celle-ci peut recourir notamment au consensus des experts ou à la description, par le praticien lui-même, des tâches qu'il accomplit de jour en jour.

Par ailleurs, des études descriptives se fondent, par exemple, sur l'observation détaillée d'un petit nombre de médecins à plusieurs jours d'intervalle. On relève aussi des travaux portant sur l'opinion des clients, ou encore l'épidémiologie ou la qualité des soins.

La catégorie d'études qui retiendra notre attention s'intéresse à la démarche intellectuelle liée au diagnostic. Le diagnostic médical a été considéré par les psychologues comme une forme de résolution de problèmes.

S'il le désire, le lecteur peut trouver une description plus détaillée et une critique de chacune de ces approches dans l'ouvrage récent intitulé Assessing Clinical Competence publié à New York par Springer Publishing Company[55].

---

55. Norman Geoffrey R., Defining Competence: A Methodological Review in Neufeld V.R. and G.R. Norman, Editors, Assessing Clinical Competence, Springer Publishing Co., 1985, pp. 15-35.

b) Quelques descriptions et caractéristiques

Ne concernant qu'indirectement le diagnostic médical, ce travail ne fournira pas une étude exhaustive des diverses descriptions du processus mental qu'il implique.

De fait, deux paradigmes ou modèles principaux de ce processus sont apparus au cours des recherches des vingt dernières années, et ce, plus ou moins visiblement. L'évolution de ces paradigmes est décrite dans l'article Paradigms and Problem-Solving: A Litterature Review publié en août 1984, dans le Journal of Medical Education[56].

- Deux paradigmes principaux

. Un modèle général unique

Selon l'un de ces paradigmes, une même démarche générale conviendrait à tous les problèmes. Les hypothèses sous-jacentes à ce modèle seraient les suivantes:

a) En médecine, les problèmes constituent un ensemble relativement homogène au moins en ce qui concerne la façon de les résoudre.

b) Cette hypothèse implique que les mêmes processus généraux de solutions s'appliquent dans tous les cas.

c) Ces processus sont tous des variantes de la méthode scientifique hypothetico-déductive[57].

Dans cette ligne de pensée, l'ouvrage le plus important est sans doute celui de A.S. Elstein et de ses collaborateurs, paru sous

---

56. Berner Eta S., Paradigms and Problem-Solving: A Literature Review, Journal of Medical Education, Aug. 1984, pp. 625-633.

57. Idem, p. 626.

l'intitulé Medical Problem Solving - An Analysis of Clinical Reasoning[58]. Ceux-ci, d'ailleurs, précisent leur façon de voir.

> "In our opinion, there is a general mental process common to all medical problem solving, and we have tried to outline it in the model of medical inquiry. However, the effectiveness with which this process is mobilized in any particular case depends on knowledge in a particular domain."

Les auteurs soulignent bien que l'efficacité de ce processus dans un cas ou dans l'autre est liée à un savoir concernant un domaine particulier[59]. Dans l'ouvrage ci-dessus mentionné, Elstein présente une méthode heuristique révisée, tirée de son cours sur l'analyse de la décision clinique.

Cette méthode, dont voici un bref aperçu comporte trois phases:

1. La formulation d'hypothèses

Il s'agit de formuler plusieurs hypothèses de diagnostic compatibles avec l'objet principal des plaintes du client. Il importe, en particulier, de tabler sur les "bons" ensembles des symptômes (les relations entre organes et systèmes peuvent être utiles) et de considérer en premier lieu les diagnostics les plus communs. Essayer d'estimer séparément la probabilité d'une maladie et les conséquences découlant d'une absence de traitement.

2. La collecte des données

Il faut élaborer un plan raisonné de vérification des hypothèses, en tenant compte à la fois du probable et de l'utile.

---

58. Elstein A.S., Shulman L.S. and others, Medical Problem Solving - An Analysis of Clinical Reasoning, Harvard University Press, 1978, 330 p.

59. Idem, p. 292.

Les décisions relatives au diagnostic doivent être examinées à la lumière des possibilités de traitement. Ainsi, il est inutile de poursuivre la différenciation des diagnostics entrainant le même traitement. Chaque donnée recueillie doit être justifiée par l'utilité de l'information qu'elle apporte. Quant aux tests qui peuvent être nuisibles, considérer à la fois leurs conséquences et les renseignements qu'ils peuvent fournir[60].

3. L'organisation des données, l'évaluation des hypothèses, le choix du traitement

Rechercher activement et évaluer les faits susceptibles d'éliminer toute hypothèse ou choix d'action, aussi bien que ceux qui tendent à les confirmer. Se méfier de la tendance à sous-estimer ou à négliger les données qui infirmeraient probablement une hypothèse favorite.

Ne pas oublier qu'un patient peut souffrir de plusieurs maladies et agir en conséquence. Réviser les probabilités en cause après la collecte des données. Par exemple, en estimant la probabilité d'un diagnostic particulier, lui conférer plus de poids si on le retrouve fréquemment. De même, si le diagnostic A correspond plus probablement que le diagnostic B aux résultats cliniques, il faut adopter le premier, quitte à changer d'opinion.

Après avoir finalement choisi un traitement, il faut examiner à la fois la probabilité des diagnostics qui peuvent le déterminer ainsi que les conséquences - bienfaits ou dommages - qui en découleraient. Combiner ces deux estimations et choisir le traitement en fonction de la plus grande valeur obtenue.

> "When a course of action is finally selected, consider both the probability of the diagnoses for which this action is appropriate and the bene-

---

60. Idem, p. 297.

> fits/penalties that would accrue. Combine these two considerations to estimate expected value and choose so as to maximize expected value."[61]

Diverses recherches s'inspirant d'un modèle général amèneront à mettre en doute un tel paradigme. Parmi les résultats, il faut mentionner ceux qui révèlent le manque de constance des performances d'un même individu dans la solution de problèmes différents[62].

On peut relever diverses tentatives d'explication de ces résultats et des essais d'amélioration du cadre conceptuel du diagnostic. Ainsi, en 1982, J. Gale énumère 14 composantes de ce processus, utilisables selon le cas[63].

D'autres auteurs proposent un modèle comportant plus d'une dimension.

- Un modèle multi-dimensionnel

En 1976, P.G. Bashook suggère de tenir compte non seulement du processus de solution de problèmes, mais aussi du contexte des soins et de la discipline médicale en cause. Il élabore un modèle à trois dimensions, qu'il illustre comme suit:[64]

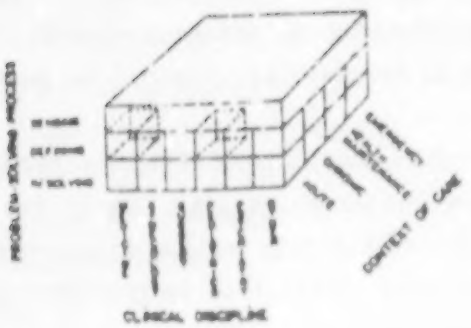
---

61. Idem, p. 298.

62. Berner E.S., Paradigms and Problem-Solving: A Literature Review, Journal of Medical Education, Aug. 1984, p. 629.

63. Gale J., Some Cognitive Components of the Diagnostic Thinking Process, Br J. Educ. Psychol., 52-64-76, 1982.

64. Bashook P.G., A conceptual Framework for Measuring Clinical Problem-Solving, Journal of Medical Education, vol. 51, February 1976, pp. 109-114.



Cadre conceptuel de l'évaluation
de la compétence dans le domaine
de la clinique

(Tiré de Bashook, J.Med.Ed. 51, p. 111)

Le diagnostic exige que l'on perçoive, définisse et résolve le problème. Le contexte des soins, qu'il s'agisse par exemple de prévention de la maladie ou d'une urgence, peut exiger des habiletés variées. Dans ce dernier cas, la rapidité sera importante.

De même, la pratique de la médecine interne requiert des habiletés différentes de celles du chirurgien ou du pédiatre. L'auteur ne se propose pas d'établir une liste exhaustive des disciplines qui peuvent être distinguées, mais plutôt de montrer que ces distinctions doivent être considérées lors de l'évaluation de la compétence dans le domaine clinique[65].

Comme le signale Berner dans l'article intitulé Paradigms and Problem-Solving[66], Getzels a proposé en 1982 une typologie qui peut s'étendre aux problèmes médicaux. Se plaçant du point de vue de

---

65. Idem, p. 111.

66. Berner E.S. Paradigms and Problem-Solving: A Literature Review, Journal of Medical Education, vol. 59, Aug. 1984, pp. 630-631.

celui qui doit les résoudre, Getzels distingue des problèmes de diverses catégories. Il différencie, par exemple, ceux dont la nature et la solution sont connus de ceux dont la solution n'est claire qu'une fois le problème précisé. D'autres formes de problèmes peuvent être discernées, à savoir ceux dont la nature et la solution ne sont pas bien établies et ceux pour lesquels les diverses formes de traitement comportent des risques, etc.

Getzels souligne qu'un même problème peut exiger des stratégies différentes selon les connaissances et l'expérience d'un individu. L'un mobilisera un simple schème de recognition, alors que l'autre devra recourir à la vérification d'hypothèses[67].

Selon Berner, les dimensions énoncées par les auteurs qu'il mentionne ne décrivent pas adéquatement les différences entre problèmes. En 1979, cet auteur et l'un de ses collègues de l'université de l'Illinois ont proposé un modèle comportant douze catégories. Ce modèle regroupe maintenant vingt catégories (types de maladies, urgence du traitement, etc.) parmi lesquelles figure la dimension mise en évidence par Getzels.

Si l'on a défini la gamme des situations problématiques, on pourra, en se fondant sur les convergences observées, prévoir des similarités en ce qui concerne le processus de solution de problèmes et les performances des individus. Cependant, si les problèmes diffèrent en fonction de plusieurs dimensions, il est possible de prédire des différences entre les performances à l'intérieur d'une même catégorie. Ainsi, le manque de constance des résultats qui découlait de l'utilisation d'un modèle unique, devient-il un phénomène hétérogène à explorer:

---

67. Getzels J.W., The Problem of the Problem, In New Directions for Methodology of Social and Behavioral Science: Question Framing and Response Consistancy, No 11, R. Hogarth Ed. San Francisco, Jossey-Bass, 1982, pp. 37-49.

"Such an analysis allows the reconciliation of the conflicting results of universal process on the one hand and problem specific performance on the other hand. Thus, from one pespective, low correlations between problems reflect unreliability to be deplored and, from another, heterogeneity to be explored."[68]

- Composantes énoncées par l'Association des collèges américains de médecine

Il y a quelques années, l'Association des collèges américains de médecine invitait les écoles et collèges de médecine ainsi que les associations médicales professionnelles à évaluer la formation des médecins.

Des groupes de travail furent constitués. L'un d'eux devait se préoccuper de la question des habiletés fondamentales. Divers sous-groupes se sont partagés la tâche et l'un deux étudiait les habiletés cliniques.

Dans son rapport[69], le groupe chargé de l'étude des habiletés fondamentales décrit sept habiletés cliniques dont devrait faire preuve un étudiant en médecine lors de l'obtention de son diplôme. Ces habiletés sont les suivantes:

1. Recueillir des données et des renseignements au cours d'une entrevue avec le client.

2. Recueillir des données grâce à un examen physique du patient.

3. Recueillir des données à l'aide de tests diagnostics.

---

68. Berner E.S., Paradigms and Problem-Solving: A Literature Review, Journal of Medical Education, Aug. 1984, p. 631.

69. Association of American Medical Colleges, Charge to Working Group 2/Fundamental Skills, in Physicians for the Twenty-First Century, Journal of Medical Education, Nov. 1984, Part 1 (Published as a supplement), pp. 131-132.

L'étudiant planifie logiquement la séquence des tests, de sorte qu'ils contribuent directement à la décision concernant les soins à donner; tenir compte pour cela des informations déjà obtenues; prévoir raisonnablement les résultats des tests et établir clairement comment ils seront utilisés.

4. Formuler le diagnostic

L'étudiant présente ou enregistre avec exactitude, concision et logique, les renseignements relatifs au patient; il détermine ses problèmes majeurs et estime la probabilité des divers diagnostics possibles pour chacun de ces problèmes.

5. Sélectionner et planifier le traitement

L'étudiant sélectionne le traitement le plus efficace et comportant le moins de risques pour le patient; il utilise des mesures préventives et éduque ce dernier en ce qui a trait au maintien de sa santé; au besoin, il recourt à la consultation de spécialistes; il planifie des traitements en fonction de tous les problèmes majeurs du client et il les choisit scientifiquement lorsque cela est possible, etc.

6. Communiquer des données cliniques (dossier du patient, information orale des collègues)

7. Reconnaître et traiter de façon appropriée les maladies et les blessures mettant la vie en danger

Il va sans dire que ces habiletés sont décrites beaucoup plus longuement dans le rapport en cause. Nous n'avons voulu retenir ici, par rapport à certaines d'entre elles, que les traits les plus susceptibles de présenter des analogies avec des éléments du processus de diagnostic de pannes.

c) Conseils pédagogiques et axes de recherche

Plusieurs organismes ou chercheurs ont formulé des recommandations sur l'enseignement, l'évaluation et la recherche concernant le diagnostic médical. Devant nous limiter, nous nous efforcerons de résumer surtout les propos recueillis dans quelques travaux récents, choisis parmi les plus marquants. Ainsi, nous nous référerons à une section du rapport américain Physicians for the Twenty-First Century et à la revue des études sur le diagnostic médical déjà citée et publiée sous le titre Paradigms and Problem-Solving. Nous consulterons aussi l'ouvrage intitulé Assessing Clinical Competence, paru en 1985, nous bornant, pour ce qui est des techniques d'évaluation, à ne retenir ici qu'une simple énumération.

Nous regrouperons premièrement divers conseils généraux touchant les programmes, l'enseignement et l'évaluation pour aborder ensuite les perspectives de recherche esquissées par les auteurs en cause.

- Programmes, enseignement et évaluation

> "Il y a tant d'erreurs de diagnostics, constate le Dr Mongeau."
>
> La Presse, Plus, 2 novembre 1985

Selon le rapport de l'AAMC, Physicians for the Twenty-First Century[70], l'une des habiletés fondamentales nécessaires à tous les médecins consiste à savoir appliquer les principes scientifiques à la décision clinique. Les étudiants en médecine doivent s'efforcer d'acquérir ce savoir-faire dès leur formation professionnelle générale même si sa parfaite maîtrise ne sera atteinte que plus tard.

---

70. Association of American Medical Colleges, Physicians for the Twenty-First Century, Subgroup Report on Clinical Skills, Journal of Medical Education, November 1984, Part 2 (Supplement).

> "Although skill in selecting and using specific alternatives will be attained during specialized graduate medical education, students, during their general professionnal education, should acquire the basic skills needed to make scientifically based clinical decisions."[71]

Cependant, beaucoup d'étudiants obtiennent leur diplôme sans posséder suffisamment les capacités en cause. Le rapport conclut que l'on devrait apporter des changements radicaux aux études en médecine, notamment au stage clinique (clinical clerckship)[72]. Les buts, normes et méthodes d'évaluation de ce stage ainsi que les performances qui y sont attendues ne sont pas bien définis. Le milieu dans lequel il se déroule laisse à désirer.

Afin d'améliorer la formation des futurs médecins, le rapport propose des solutions relatives aux programmes, à l'enseignement et à l'évaluation des étudiants.

. Les programmes

En ce qui concerne les programmes, les solutions suggérées touchent sept domaines: la communication, la collecte de données, la sélection et l'interprétation de tests diagnostics, la transmission de renseignements sur les patients, la formulation du problème et la décision clinique, l'obtention de la coopération du patient et les procédés cliniques de base.

1. La communication

La théorie et la pratique de la communication requièrent une attention systématique; les programmes intégreront les notions de base en cette matière. Les techniques d'entrevues seront enseignées

---

71. Idem. p. 97.

72. Idem, p. 139.

et leur acquisition, évaluée. On s'efforcera de susciter et de faire croître chez les étudiants une attitude humaniste, centrée sur le patient.

2. La collecte de données

L'utilisation de la méthode scientifique suppose des données exactes. Les étudiants doivent donc connaître l'importance de la précision et du détail; ils l'apprendront grâce à la persuasion et aux exemples fournis concrètement par des cliniciens. Ils doivent aussi être conscients des limites des données cliniques, lesquelles résultent de l'incertitude relative à l'état réel du patient. On leur enseignera de plus les sources de la variation des données cliniques et les statistiques utilisées pour les décrire[73].

Ordinairement, l'information obtenue en conversant avec le patient contribue davantage à la résolution du problème que celle qui provient de l'examen ou de tests diagnostics. L'interprétation des données issues de ces diverses sources dépend de l'estimation de la probabilité de telle ou telle maladie formulée à partir de l'anamnèse.

Savoir utiliser les données tirées de l'entrevue pour vérifier les hypothèses relatives au diagnostic constitue peut-être, selon les auteurs, l'habileté clinique la plus difficile à maîtriser. Les capacités des étudiants en matière de formulation et de vérification d'hypothèses doivent être développées par un enseignement systématique de la logique du diagnostic et des principes du raisonnement clinique. Le savoir de base sous-jacent au diagnostic doit aussi être maîtrisé, notamment en ce qui concerne la détermination de la probabilité de diverses hypothèses, les symptômes de maladie et leur poids par rapport au contexte ainsi que les caractéristiques des résultats des tests diagnostiques.

---

73. Idem, p. 140.

Les étudiants apprendront à effectuer un examen médical de base et un examen détaillé des parties du corps; ils devront savoir discerner le moment de recourir à la totalité du répertoire de leurs techniques de diagnostic.

On les guidera dans l'identification du contenu de l'examen médical de base et on aidera les débutants à évoluer dans leur façon de procéder à un examen. On leur apprendra à reconnaître les urgences et à décider au besoin du début d'un traitement, même en l'absence d'une information complète sur le patient[74].

3. La sélection et l'interprétation des tests diagnostics

Ce qui concerne le choix des tests diagnostics sera enseigné dans le contexte de la pathophysiologie. Cette discipline constitue le cadre de l'établissement de la séquence logique des tests en cause.

De nouvelles méthodes heuristiques basées sur les lois des probabilités font leur apparition dans les écoles de médecine; les étudiants y seront initiés, de même qu'aux techniques d'analyse de la décision. Ceux-ci auront l'occasion de pratiquer sous la supervision de professeurs s'intéressant au raisonnement clinique et d'utiliser des logiciels expliquant la logique du diagnostic[75].

4. La communication de renseignements relatifs aux patients

Puisque le soin des malades est une activité qui s'exerce en groupe, la communication de renseignements sur les patients est inhérente à la pratique de la médecine. Les étudiants s'initieront à la tenue des dossiers médicaux et à la transmission orale de renseignements dès les cours d'introduction en médecine clinique. La correspondance entre médecins sera aussi au programme[76].

74, 75. Idem, p. 141.

76. Idem, pp. 141-142.

5. La formulation du problème et la décision clinique

Les informations d'ordre clinique doivent permettre de comprendre les problèmes du malade et de déterminer un mode d'action approprié. Pour atteindre ce but, les étudiants doivent connaître la conduite humaine, le diagnostic différentiel et les thérapeutiques. Sans doute peuvent-ils bénéficier d'un enseignement sur ces sujets, mais ils n'apprendront vraiment à appliquer les principes retenus que lorsqu'ils prendront la responsabilité du traitement du patient, et ce, sous la tutelle de médecins expérimentés. Aussi, les facultés auront-elles le souci de garder un juste équilibre entre apprentissage théorique et activités pratiques.

On aura soin d'évaluer les stages cliniques afin de s'assurer que les étudiants peuvent y acquérir les habiletés cliniques de base[77].

6. L'obtention de la coopération du patient

La coopération du patient est indispensable à la guérison des maladies chroniques. Par conséquent, la façon d'éduquer le patient et d'obtenir sa collaboration doit revêtir plus d'importance dans les programmes[78].

7. Les procédés cliniques de base

En plus des habiletés cliniques requises lors de presque toutes les rencontres avec un patient, l'étudiant en médecine doit aussi maîtriser les procédés les plus avancés permettant de faire face aux urgences (arrêt cardiaque, hémorragie externe majeure, transfert sécuritaire d'un blessé, etc.)[79].

---

77. Idem, p. 142.

78. Idem, p. 143.

79. Idem, p. 144.

Nous ne tenterons pas d'établir un parallèle entre chacun des points mentionnés ci-dessus et les caractéristiques des programmes relatifs au diagnostic de pannes d'automobiles ou d'appareils électro-ménagers. Cependant, pour peu qu'on y réfléchisse, certaines questions surgissent sans difficulté. Par exemple, y aurait-il lieu d'amener les futurs réparateurs à mieux interroger les clients sur les troubles que présentent leur automobile ou appareils électriques en panne? Ne devraient-ils pas apprendre à discuter entre eux des causes possibles des divers bris? Ne devrait-on pas mieux développer leur capacité de formuler et de vérifier des hypothèses relatives à ces causes? Ne devrait-on pas leur enseigner la logique du diagnostic et leur apprendre à déterminer les causes probables de telle ou telle anomalie? On peut aussi s'interroger sur l'amélioration possible de l'évaluation et de l'enseignement relatifs au diagnostic. À ce sujet, le rapport Physicians for the Twenty-First Century recèle encore, nous semble-t-il des sources d'inspiration.

- L'enseignement et l'évaluation

. Le rapport de l'AAMC

Il est possible d'améliorer l'enseignement en développant les habiletés individuelles des maîtres et en organisant des séances d'enseignement plus efficaces, souligne le rapport de l'AAMC.

Les facteurs qui déterminent l'excellence de l'enseignement doivent être identifiés. On devrait prêter plus d'attention à l'élaboration de mesures fiables et discriminantes des habiletés relatives à l'enseignement et regrouper les meilleures méthodes d'évaluation des professeurs en un programme bien organisé. Divers moyens d'aider ceux-ci (séminaire, aide individuelle) seront utilisés au besoin.

Il est essentiel que l'excellence dans l'enseignement soit reconnue grâce à des promotions, des salaires et des espaces adé-

quats. Il faut aussi élaborer avec soin les programmes d'enseignement touchant les habiletés cliniques de base. Pour chaque cours, les objectifs, les résultats attendus et les modes d'évaluation des étudiants seront bien définis[80].

Les principes-clés de l'évaluation de l'apprentissage chez les étudiants sont les suivants: a) définir ce que l'on attend; b) observer l'accomplissement de la tâche en cause et c) informer l'étudiant de ce qu'il a bien fait et de ce qui nécessite de l'amélioration. Celui-ci devrait connaître les objectifs de l'enseignement, le niveau de performance attendu et la façon de l'évaluer[81]. L'ouvrage intitulé Assessing Clinical Competence fournit aussi, à propos de l'évaluation, de judicieuses recommandations.

- "Assessing Clinical Competence"

Publié en 1985 et oeuvre de plusieurs médecins et spécialistes des sciences humaines, Assessing Clinical Comptence, constitue sans doute l'un des ouvrages les mieux documentés sur l'évaluation de la compétence dans le domaine de la clinique.

En bref, la compétence clinique requiert, selon cet ouvrage, les habiletés suivantes: a) des habiletés cliniques: pouvoir obtenir des renseignements d'ordre clinique et interpréter l'information obtenue; b) le savoir et la compréhension permettant de soigner efficacement les malades; c) la capacité d'établir des relations avec les patients; d) la capacité de résoudre des problèmes et le jugement clinique; e) des habiletés techniques: maniement des procédés et techniques relatifs au diagnostic et au soin des malades[82].

---

80. Idem, p. 144.

81. Idem, p. 145.

82. Neufeld V.R., Implications for Education (chapter 15) in Neufeld V.R. and Norman G.R., Editors, Assessing Clinical Competence, Springer Publishing Co., 1985, p. 300.

Comme le souligne l'auteur du quinzième chapitre, la compétence clinique revêt plusieurs dimensions. Une seule méthode ne saurait l'évaluer comme il convient. De fait, deux approches principales ont présidé au choix des méthodes d'évaluation. La première implique la combinaison de plusieurs instruments distincts alors que la seconde met en jeu un événement unique, faisant appel à plusieurs composantes de la compétence clinique[83].

Quels conseils pratiques peut-on donner au professeur- clinicien devant choisir des méthodes appropriées d'évaluation? L'auteur propose une démarche en trois étapes[84]. La première consiste à déterminer les habiletés à évaluer et à les classifier en recourant par exemple aux catégories mentionnées ci-dessus. En second lieu, il faut distinguer parmi les méthodes d'évaluation, celles qui correspondent le mieux aux habiletés retenues.

Au cours de cette phase, on peut s'inspirer d'un tableau à double entrée mis au point par l'auteur. Ce tableau présente en ordonnée les cinq grandes catégories d'habiletés déjà citées et en abscisse l'énumération de diverses méthodes d'évaluation étudiées dans les chapitres précédents de son ouvrage. Ces méthodes sont les suivantes: l'examen oral, l'examen écrit, l'observation directe, les simulations reposant sur l'écrit, les simulations sur ordinateur, la revue des dossiers médicaux et l'échelle globale d'évaluation.

La p. 112 reproduit en français l'essentiel de ce tableau. On y retrouve en fonction de chaque habileté, une estimation du degré de convenance d'une méthode donnée. Quelque peu arbitraire au dire de l'auteur, la pondération utilise un système de "plus" et reflète une approche critique de chaque méthode[85].

---

83. Idem, p. 302.

84. Idem, pp. 303-305.

85. Idem, p. 303.

Grille des méthodes et habiletés

Méthodes / Habiletés	Examens oraux	Examens écrits	Observation directe	Simulations reposant sur l'écrit	Simulations sur ordinateur	Revue de dossiers médicaux	Échelle globale d'évaluation
Habiletés cliniques	+ (indirect)		+++	++	+	++ (indirect)	+
Savoir et compréhension	+	++	+	+	+	+	+
Relations inter-personnelles	+		+++				+
Solution de problèmes et jugement clinique	+++		+	++	++	++	+
Habiletés techniques			+++			+ (indirect)	+

Tiré de Neufeld V.R., Norman G.R.,
Assessing Clinical Competence, p. 304 (Traduit par l'auteure).

La troisième étape implique le choix des méthodes d'évaluation. On peut combiner plusieurs méthodes différentes ou recourir à un seul évènement qui mobilise plusieurs composantes de la compétence.

En ce qui concerne les programmes et l'évaluation, divers axes de recherche ont été déterminés.

- Axes de recherche

. "Assessing clinical competence"

L'ouvrage dont il vient d'être question consacre un chapitre entier aux implications relatives à la recherche[86]. Ce chapitre décrit brièvement le cheminement suivi par beaucoup d'innovations au cours des deux dernières décennies. Il pose ensuite quelques questions fondamentales à propos de la recherche sur l'évaluation.

- Le cheminement de plusieurs innovations

Plusieurs nouvelles méthodes d'évaluation ont connu le cheminement suivant:

1. Identification d'un net besoin de méthodes d'évaluation dans un domaine particulier.

2. Première élaboration d'une nouvelle méthode.

3. Études préliminaires utilisant des méthodes peu rigoureuses et donnant des résultats favorables.

4. Large adoption, suscitant l'enthousiasme.

---

86. Norman G.R., Implications for Research (chapter 17) in Neufeld V.R. and Norman G.R., Editors, Assessing Clinical Competence, Springer Publishing Co., 1985, pp. 330-352.

5. Études ultérieures recourant à des méthodes plus rigoureuses jetant des doutes sur les premiers résultats.

6. Désenchantement et recherche de nouvelles méthodes.

De ces vicissitudes on peut conclure au besoin de recherches effectuées avec rigueur, et ce, avant l'adoption à grande échelle d'une méthode d'évaluation.

Si l'on regarde d'un oeil critique les résultats obtenus au cours des dernières années, il semble que l'on ait fait peu de progrès quant à l'élaboration d'une définition précise de la compétence clinique et quant à l'évaluation de celle-ci. Des plans expérimentaux de peu de valeur et des analyses statistiques impressionnantes et incompréhensibles obscurciraient fréquemment les questions les plus simples[87].

Tentant de remédier à la situation qu'il décrit, G. R. Norman formule des questions fondamentales qui devraient susciter des recherches, ainsi que divers commentaires.

- Quelques questions et commentaires

Se référant par exemple aux travaux de Elstein, G. R. Norman souligne que l'on a commencé à définir les composantes de la solution de problèmes cliniques mais que l'on connaît peu les conditions qui en déterminent l'efficacité. Les questions requérant des études plus poussées seraient les suivantes:

1. Quelles sont, en fonction de leur importance et de leur pertinence, les variables qui doivent être mesurées lors de l'entrevue clinique?

---

87. Idem, pp. 330-331.

2. Quelles dimensions de la compétence clinique sont reliées aux résultats, par exemple à la qualité des soins?

3. Quels sont les éléments prédictifs importants ou les causes déterminantes de la compétence clinique?

4. Quelles relations existent entre les diverses méthodes d'enseignement (par exemple celle qui fait appel à la solution des problèmes) et la compétence clinique[88]?

Entre autres commentaires, l'auteur rappelle qu'il y a peut-être deux décennies, on considérait comme synonymes le savoir et la compétence. Les programmes reposaient sur la transmission d'un ensemble de connaissances, et la sélection des étudiants, sur le savoir acquis antérieurement. Malheureusement, l'accumulation de résultats de recherche a montré que le savoir, bien qu'il soit nécessaire à la compétence, n'y suffit pas. On a alors cherché d'autres facteurs susceptibles de guider la sélection et la formation des futurs médecins. Pour ce qui est des admissions, il fut question de qualités personnelles; on a introduit dans les programmes la solution de problèmes, les habiletés techniques et les habiletés concernant les relations avec autrui. Cependant, on a omis de clarifier le sens de ces termes, faute de recherche fondamentale.

Nous ne savons pas si la capacité de régler des problèmes est d'ordre général, ou spécifique au contenu. Nous ne savons pas si cette capacité est innée ou acquise. Doit-on sélectionner les étudiants en fonction de leurs résultats à un test général sur la solution de problème ou doit-on tenter de donner un enseignement en cette matière?

Il existe peu de recherches, poursuit l'auteur, sur les relations entre la capacité de résoudre des problèmes cliniques et la

---

88. Idem, p 332.

maîtrise du savoir liée à ces problèmes. De faibles corrélations entre les tests de connaissance et les tests sur la solution de problèmes peuvent résulter simplement de ce que le contenu des premiers ne recouvrent que faiblement le savoir mis en cause par les seconds[89].

On s'en rend compte, les critiques et suggestions de G. R. Norman veulent s'attaquer aux causes profondes des incertitudes qui entourent actuellement l'évaluation de la compétence clinique. Voyons maintenant quelles recherches devraient être poursuivies dans l'optique de Berner.

- Berner et la recherche découlant d'un modèle multi-dimensionnel de solution de problèmes

L'adoption d'un modèle multi-dimensionnel (voir p. 99) assorti de processus variés de solutions pose des questions suscitant un besoin de recherches. Voici quelques-unes de ces questions:

1. Quelles sont les dimensions de la gamme potentielle des problèmes?

2. Quels processus sont communs à différents types de problèmes?

3. En ce qui concerne la solution de problèmes, existe-il des approches transcendant les différences entre les problèmes de divers types[90]?

Selon Berner, les vingt premières années de recherches sur la solution de problèmes médicaux constituent le fondement des travaux

---

89. Idem, p. 335.

90. Berner Eta S., Paradigms and Problem-Solving, A Literature Review, Journal of Medical Education, August 1984, pp. 631-632.

des vingt prochaines années. Quant au rapport du sous-groupe de l'AAMC sur les habiletés cliniques, ses recommandations visent surtout l'enseignement.

- Le rapport de l'AAMC

Le rapport de l'AAMC, Physicians for the Twenty-First Century[91] propose quelques pistes de recherches sur les habiletés cliniques. Elles touchent les points suivants:

1. Qu'est-ce qui détermine la qualité d'un enseignement centré sur le patient? Comment peut-on mesurer avec sécurité les habiletés relatives à l'enseignement?

2. Quels sont les effets d'un enseignement intégrant les techniques d'analyse de la décision et les aides à la décision?

3. Comment peut-on accroître chez les médecins la capacité d'utiliser les découvertes cliniques pour estimer les probabilités de maladie?

4. En ce qui a trait à l'entrevue clinique et à l'examen médical, quelle partie de l'information recueillie est soumise à des variations en fonction des observateurs? Comment peut-on la réduire?

La recherche devrait s'efforcer de trouver des façons de mesurer facilement et sûrement l'adhésion du malade au traitement proposé. Il est aussi nécessaire d'élaborer des logiciels reposant sur les principes de base du raisonnement des cliniciens experts, en ce qui a trait à l'évaluation des données recueillies et à la décision clinique.

---

91. Association of American Medical Colleges, Physicians for the Twenty-First Century, Subgroup Report on Clinical Skills, Journal of Medical Education, November 1984, Part 2 (Supplement) p. 145.

Dans le cadre de ce travail, ce que l'on pourrait retenir de tant de suggestions de recherches, ce sont surtout, nous semble-t-il, les interrogations sur les déterminants du diagnostic et sur la façon d'évaluer l'enseignement et l'apprentissage. Sur ce dernier point on peut s'inspirer avec avantage des méthodes d'évaluation décrites dans Assessing Clinical Competence, tout en n'oubliant pas la nécessité de recherche sur l'évaluation, mise en évidence par cet ouvrage.

Conclusion

Il est possible que la complexité des recherches sur le diagnostic médical ait rebuté le lecteur. Peut-être même celui-ci s'interroge-t-il sur l'opportunité d'entreprendre des recherches analogues en ce qui concerne le diagnostic de pannes de moteurs et d'appareils électro-ménagers.

Pour répondre à cette question, il faudrait peut-être se demander tout d'abord si, à l'heure actuelle, l'enseignement relatif à ces types de diagnostic permet d'atteindre le niveau d'efficacité souhaité. La population en général est-elle satisfaite de la façon dont les réparateurs trouvent (ou ne trouvent pas) les causes de pannes et de bris? Les coûts en sont-ils minimaux? Des accidents pourraient-ils même être évités?

La rareté des études sur ces questions et sur l'enseignement touchant le diagnostic ne peut qu'étonner. Le lecteur sera sans doute heureux d'apprendre qu'à l'université du Québec à Chicoutimi une recherche sur l'initiation au diagnostic de pannes d'appareils électro-ménagers a été entreprise. Elle est menée par monsieur Jean-Claude Vachon et ses collaborateurs. Le compte rendu de ce travail sera diffusé prochainement.

Si l'on considère le problème plus général posé dans ce chapitre, on pourrait même objecter qu'il serait trop difficile - voire même impossible - d'initier le futur ouvrier à la méthode scientifi-

que, vu son "degré d'abstraction". À ceci, l'on peut répondre que déjà, certaines écoles et entreprises ont eu recours à divers moyens pédagogiques pour concrétiser cette méthode et permettre aux élèves et aux ouvriers de l'assimiler et de l'utiliser. On peut citer à ce propos le diagramme cause-effets du professeur Ishikawa (dont on trouvera un exemple en annexe, pp. 151-153) et les moyens proposés, par exemple, dans les brochures intitulées Skills for the Changing Work Place[92-93], publiées par le National Center for Research in Vocational Education. Des procédés s'inspirant des analyses sous-jacentes aux systèmes-experts pourraient aussi s'avérer utiles (voir un exemple en annexe, p. 154) et donner lieu comme les autres, à des expérimentations rigoureuses.

Il nous tarde enfin de rappeler que le souci d'initier l'ensemble des élèves à la méthode scientifique ne date pas d'hier. Cette préoccupation a même déterminé le leitmotiv de How we think[94], l'ouvrage majeur du grand précurseur que fut bien avant Jean Fourastié, John Dewey.

---

92. Bhaerman R.D. and Oliver L., Skills for the Changing Work Place - An Electronics Instructor's Guide, National Center for Research in Vocational Education, 1985, pp. 26-27.

93. Bhaerman, R.D. and North R.A., Skills for the Changing Work Place - An Automotive Repair Instructor's Guide. National Center for Research in Vocational Education, 1985, 23-24.

94. Dewey John, How we think - A Restatement of the Relation of Reflective Thinking to the Educative Process, New York, Heath and Company, 1933, 301 p.

SOMMAIRE ET RECOMMANDATIONS

Cet ouvrage avait pour but, d'une part, de regrouper et de tirer parti, si possible des recherches sur la didactique relative à la compréhension des objets techniques ainsi que des études sur l'analyse du raisonnement face à ces objets. Il se proposait, d'autre part, d'examiner plus en profondeur le problème de l'initiation à la démarche scientifique chez les élèves de l'enseignement professionnel au secondaire, notamment chez ceux qui seront chargés plus tard de certains travaux de réparation.

Vu la rareté, sinon l'absence de recherches sur le diagnostic de pannes, l'auteure s'est demandé à ce propos si l'on pourrait s'inspirer d'études sur l'initiation au diagnostic médical afin de mieux former les futurs réparateurs de véhicules automobiles et d'appareils électroménagers. Certes, cette question fera sourire au premier abord, mais la comparaison des démarches requises grosse modo dans les deux cas (pp. 86 à 88 et 97 à 104), et la similitude de la structure de départ des problèmes posés (voir p. 94) convaincra sans doute le lecteur de la pertinence de ce rapprochement.

Nous esquisserons ici les grandes lignes des travaux résumés dans ce document et essaierons de dégager les tendances que peuvent manifester leurs résultats, eu égard aux procédés d'apprentissage et aux méthodes d'enseignement. Avant de terminer, nous formulerons quelques recommandations sur les objectifs et le contenu de la formation professionnelle en ce qui a trait à l'objet de ce travail. Certaines recommandations relatives à la formation des maîtres toucheront les méthodes et techniques d'enseignement, qui devraient tenir compte des processus d'apprentissage. D'autres, enfin concerneront la poursuite des recherches sur la psychopédagogie des objets techniques et sur l'initiation au diagnostic de pannes et aux modes de gestion participative.

. Psychopédagogie des objets techniques

L'introduction du chapitre sur la psychopédagogie des objets techniques faisait ressortir les deux versants de la pensée technique, dont l'un concerne la compréhension des objets techniques. Après avoir reconnu la richesse de la notion de système dans l'analyse des objets techniques, nous avons vu que cette notion n'en épuisait pas toute la compréhension. Au-delà de cette notion, il faut tenir compte des principes et concepts scientifiques qui expliquent le fonctionnement de l'objet technique. Les fondements de cette assertion ont été posés dans le premier tome de ce travail[1].

. Le travail de l'équipe de recherche du PPMEP à Chicoutimi

Diverses expériences et études avaient déjà permis de formuler l'hypothèse que les élèves de l'enseignement professionnel et même certains jeunes de l'enseignement général seraient particulièrement stimulés par l'utilisation d'une méthode inductive, au sens d'une approche reposant d'abord sur le concret. C'est cette hypothèse qui a guidé l'équipe de recherche du PPMEP de Chicoutimi dans l'élaboration de modules faisant ressortir les concepts et principes scientifiques sous-jacents aux systèmes de refroidissement et au soudage à l'arc au tungstène[2].

Des cours de sciences physiques furent aussi mis au point par la même équipe. Certains de ces cours débutaient par l'observation du schéma de divers objets techniques familiers aux élèves (monte-automobile hydraulique, pince à linge, etc.) présentés grâce à un rétroprojecteur. Cette expérience ainsi que la précédente semblent avoir donné des résul-

---

1. Labonté T., L'acquisition des concepts scientifiques sous-jacents à la formation technologique dans l'enseignement professionnel au secondaire, Québec, MESST, DGERU, 1985, pp. 14-20.

2. St-Laurent R., Fortin M. et coll., Intégration de notions de sciences physiques de base au contenu technique en équipement motorisé et en hydrothermie, Chicoutimi, UQAC, rapport 4, octobre 1985, 157 pages.

tats valables. Cependant on a noté chez les élèves une perte de l'attention après le visionnement de schémas pendant trente minutes et l'on se propose de diversifier le matériel.

. Les expérimentations de Michel Marcon et son équipe

Partant de diverses considérations, M. Marcon[3] et son équipe ont donné à leurs élèves la possibilité de recourir à une méthode inductive plus active. Les expérimentations, qui avaient pour but la compréhension d'un moteur comportaient des consignes strictes. Elles permettraient cependant aux sujets, groupés par trois ou quatre, de choisir leur méthode de travail, et de recourir à des ressources pédagogiques variées tenant compte des diverses opérations mentales mises en jeu (spécialiste de la mécanique, maquette, moteur et schémas expliquant le fonctionnement de ce dernier). De fait, des ingénieurs ayant participé à l'expérience ont choisi d'étudier d'abord les principes sous-jacents au fonctionnement du moteur et ont donc procédé par déductions pour en étudier les diverses parties. Mais les élèves de l'enseignement professionnel ont choisi de prime abord de démonter le moteur, essayant d'en comprendre le fonctionnement à partir des questions que suscitait cette opération.

Il semble que ces expériences furent couronnées de succès, même si la compréhension des principes, à laquelle sont parvenus les élèves de l'enseignement professionnel obligeait à formuler des hypothèses et à faire des déductions. Ces jeunes ont donc eu recours non seulement à l'induction, mais aussi une démarche hypothético-déductive amenant la vérification d'hypothèses.

---

3. Marcon Michel, Objet technique et formation d'adultes, Région Rhône-Alpes, 146 pages.

. Les études de B. Gillet et P. Charmet

Un élément important de la formation professionnelle dans le domaine de l'électronique, et même dans l'enseignement des sciences en général (à un moindre niveau peut-être) consiste dans l'assimilation des propriétés d'objets techniques tels que les circuits électriques, les résistances, les diodes et les transistors. Il n'est donc pas étonnant que des chercheurs se soient attachés à l'étude des conduites requises pour acquérir les concepts qui leur sont liés.

Insistant sur la nécessité de hiérarchiser les objets techniques, B. Gillet et P. Charmet[4] distinguent dans le processus de compréhension de ces objets, trois niveaux différents d'activités reliés par deux processus d'abstraction. Ces niveaux d'activités font appel successivement à des mensurations, (mesures, par exemple, du courant et de la tension), à l'établissement de tableaux de covariation et de graphiques et enfin à la formulation de modèles mathématiques. La méthode d'enseignement préconisée par ces auteurs fait appel à la formulation d'hypothèses, à des contrôles et à des vérifications que permet l'expérimentation (voir p. 43). Toutefois, affirment-ils "une véritable pédagogie de cette expérimentation reste à faire"[5].

Dans une autre étude, B. Gillet[6] analyse notamment les conduites attendues dans une situation de résolution de problèmes. Les élèves devaient établir l'équation de la droite de charge, la représenter par un graphique, étudier les variations de celui-ci en fonction de certains facteurs et réaliser un schéma ou un montage permettant d'obtenir empiriquement cette droite de charge. L'auteur arrive à la conclusion que les processus mis en évidence - abstraction et concrétisation - correspondent d'assez près à ceux qu'exige l'acquisition de connaissances scientifiques.

---

4. Gillet B., Charmet P., Psychopédagogie de l'enseignement des objets techniques, Bulletin de psychologie 1974-1975, XXVIII, 18, no. 319. pp. 948-955.

5. Idem, p. 951.

6. Gillet B., L'apprentissage du raisonnement technique selon Piaget, Éducation permanente, 61, déc. 1981, pp. 63-88.

. La thèse de J. L. Closset sur la compréhension des circuits électriques

Une ombre au tableau, cependant, en ce qui concerne la compréhension des circuits électriques. Même après avoir reçu un enseignement sur l'électricité, des élèves et étudiants de divers niveaux auraient une conception des circuits électriques non conforme aux données de la physique. C'est la conclusion majeure qui se dégage de la thèse de J. L. Closset intitulée Le raisonnement séquentiel en électrocinétique[7].

En effet, devant une série de questions sur les circuits électriques, les sujets de l'expérience recourent pour la plupart à un mode de raisonnement qui ignore l'aspect systématique des circuits, c'est-à-dire, les interrelations de leurs éléments. J. L. Closset a qualifié de "séquentiel", cette forme de raisonnement "naturel".

Réfléchissant sur les résultats et la portée de son travail, l'auteur estime qu'il est utopique de vouloir déraciner le raisonnement séquentiel. Il vaut mieux, selon lui, en faire prendre conscience à l'individu, lui montrer dans quel domaine il est valable et dans quelles situations il doit en adopter un autre. Les questions utilisées dans l'analyse du raisonnement des élèves pourraient servir à des fins d'enseignement.

Il semble indispensable à l'auteur d'amener l'élève à confronter ses raisonnements entre eux, d'une part, et aux observations faites en laboratoire, d'autre part. Il pourrait ainsi vérifier et infirmer s'il y a lieu la validité de ses hypothèses. Voilà qui nous ramène une fois de plus à l'utilisation d'une méthode inductive et au recours par l'élève à des raisonnements hypothético-déductifs.

---

7. Closset J.L., Le raisonnement séquentiel en électrocinétique, Paris, université Paris VII, Thèse de 3e cycle, 1983, 243 p.

L'auteur a aussi fait ressortir que le formalisme peut donner un vernis scientifique au raisonnement "séquentiel"; il sert alors à justifier l'erreur et à la renforcer.

. Les analyses du raisonnement effectuées par P. Vermersch ou avec sa collaboration

Les deux autres études résumées dans ce chapitre ont été effectuées à l'aide d'une méthode d'analyse préconisée ou utilisée par P. Vermersch[8-9] et inspirée de Piaget.

Ces travaux attirent l'attention sur les divers niveaux opératoires auxquels peuvent faire appel le montage d'un levier et le maniement d'un oscilloscope.

La première de ces études, qui porte sur le montage d'un levier, fait ressortir notamment qu'un matériel concret peut porter l'élève à de simples manipulations, sans l'inciter à dépasser ce niveau. D'autre part, la seconde étude montre que, même après une formation théorique relative au maniement d'un oscilloscope, des adultes qui devaient régler cet appareil adoptent au départ une conduite en apparence incohérente, manipulant plusieurs fois tous les boutons dans tous les sens. Ces adultes évoluent ensuite vers une conduite plus efficace.

. Quelques réflexions

Nous rejoignons ici, nous semble-t-il, l'analogie que voyait Michel Marcon entre la manipulation de l'objet technique et les tâtonne-

---

8. Vermersch P., Articulation entre pédagogie et psychologie cognitive: le point de vue du psychologue in Guihart et Séjournant, Comment analyser la conduite de l'élève adolescent ou adulte sous l'éclairage de la théorie de l'intelligence de Piaget, Centre national de téléenseignement, Vanves, 1979.

9. Vermersch P., Une application de la théorie opératoire de l'intelligence de Piaget aux problèmes de formation, Education permanente, 51, déc. 1979.

ments et essais dont ne se prive pas le joueur qui veut reconstruire un puzzle, même s'il est capable d'opérations mentales supérieures.

Il ne faut pas oublier d'autre part, comme le rappelle l'une des études de Vermersch, que les manipulations peuvent ne mener à rien. Il semble indispensable, dans le processus de compréhension des objets techniques, que des explications soient données à l'élève ou qu'elles lui soient accessibles, comme dans les expérimentations de Michel Marcon. Une condition nécessaire à l'apprentissage, selon ce dernier, est que l'élève se pose un problème, en un mot qu'il ressente le besoin d'accroître ses connaissances. Ceci est d'ailleurs tout à fait conforme à la psychopédagogie s'inspirant de Piaget.

Le quatrième chapitre fait ressortir l'utilité sinon la nécessité de recourir, dans le processus de compréhension des objets techniques, à une phase d'induction et à une phase hypothético-déductive amenant à des vérifications concrètes. À l'issue de ce chapitre, on peut se demander s'il suffit, dans l'enseignement professionnel, d'inciter l'élève à passer à travers les dédales de cette méthode ou s'il vaut mieux encore l'initier personnellement au maniement de celle-ci. Cette question a été examinée dans le cinquième chapitre qui s'intitule "Méthode scientifique et formation professionnelle".

. Méthode scientifique et formation professionnelle

Doit-on faire connaître la méthode scientifique au futur ouvrier spécialisé? Doit-on l'initier au maniement de la démarche expérimentale?

Ces questions ont amené à étudier les caractéristiques de la méthode scientifique, de la pensée technique et de la pensée commune et à faire ressortir les éléments essentiels de la démarche ou méthode expérimentale.

Après avoir établi qu'il importe de faire connaître l'essentiel de la démarche scientifique et le maniement de la méthode expérimentale aux élèves de l'enseignement professionnel en général, nous avons essayé de discerner les champs d'application privilégiés de cette méthode ou du recours à un cheminement analogue.

C'est ainsi que notre attention fut retenue notamment par l'étude des savoir-faire requis pour résoudre les problèmes au sein d'une entreprise recourant à un mode de gestion participative et par l'analyse du processus de diagnostic de pannes de voitures.

La complexité de ce processus, semblable en bien des points à celui du diagnostic médical, et le peu de recherches sur lesquelles on peut se fonder pour favoriser sa maîtrise, ont amené à examiner diverses approches utilisées pour décrire les habiletés cliniques. Nous avons aussi cru bon de recueillir divers conseils relatifs à l'enseignement, à l'évaluation et à la recherche concernant le diagnostic médical. Nous nous en inspirerons en partie dans les recommandations que nous formulons maintenant. Ces recommandations touchent la formation professionnelle, la formation des maîtres et la recherche.

. Recommandations relatives à la formation professionnelle

Ces recommandations ont trait au contenu et à la façon de l'adapter à l'élève.

Il convient, nous semble-t-il, de souligner encore une fois la richesse de la notion de système dans l'analyse des objets techniques et de recommander son utilisation. La valeur culturelle de l'objet technique devrait aussi être mise davantage en évidence. Ne pourrait-on pas s'inspirer par exemple des ouvrages historiques de Fernand Braudel, tenant compte de l'évolution des techniques[10].

---

10. Braudel F, Civilisation matérielle, économie et capitalisme, XVIIIe siècle, Trois volumes, Editions Armand Colin, 1979.

On conviendra sans difficulté que la formation professionnelle devrait comporter une initiation effective au maniement de la méthode expérimentale. Cette initiation devrait être adaptée aux besoins particuliers de chaque corps de métier.

Les élèves de l'enseignement professionnel devraient aussi acquérir les concepts scientifiques sous-jacents aux objets techniques nécessaires à l'exercice de leur métier. Cette proposition soulève la question plus générale des "niveaux d'approfondissement" des connaissances.

Ce problème, nous semble-t-il, devrait plutôt être envisagé au départ sous l'angle d'une progression à établir ou de contenus à hiérarchiser. On devrait tout d'abord déterminer quels concepts, principes scientifiques et interrelations sont en jeu et viser pour chaque élève le plus haut niveau de connaissance. Ayant fixé cet objectif, on se demandera ensuite quelles connaissances antérieures et quels mécanismes de pensée sont nécessaires à l'assimilation de ce contenu. Il faut ensuite voir sur quelles virtualités, sur quel acquis on peut tabler chez l'enfant pour susciter l'assimilation de ce savoir[11]. C'est ici qu'il faut tenir compte en particulier des représentations initiales ou raisonnements naturels qui peuvent être des obstacles ou des tremplins dans l'acquisition des connaissances.

L'adaptation linguistique des contenus aux élèves revêt aussi une grande importance. Des carences sur ce point et un détachement trop rapide du concret peuvent engendrer un formalisme très nuisible, comme on l'a vu au cours de ce travail.

. Recommandations relatives à la formation des maîtres

Il semble nécessaire de faire connaître aux futurs professeurs les procédés d'apprentissage les plus aptes à faire acquérir aux

---

11. Labonté T., Différenciation du possible et du probable et emploi des modes: contribution à l'étude du développement cognitif durant la scolarité, Thèse présentée à l'université Lyon II, juin 1980. pp. I4-I5.

élèves de l'enseignement professionnel la maîtrise des concepts scientifiques sous-jacents aux objets techniques. Il s'agit en particulier de l'observation à partir d'expériences ou d'objets concrets associée à une démarche hypothético-déductive débouchant sur la vérification d'hypothèses.

Il est indispensable, de plus, de rendre les futurs maîtres capables de guider les jeunes dans ces apprentissages et de les initier concrètement au maniement de la démarche expérimentale. Cela suppose qu'ils soient au courant des derniers développements de la recherche dans ce domaine.

Les maîtres devraient aussi reconnaître la complémentarité des diverses méthodes et approches relatives à l'acquisition des concepts.

. Recommandations relatives à la recherche

La poursuite des études sur l'identification des concepts scientifiques sous-jacents aux objets techniques liés à l'exercice des métiers s'impose. Le recours aux encyclopédies scientifiques et techniques peut être utile, bien que celles-ci ne touchent pas tous les objets techniques en cause.

En ce qui concerne l'initiation à la méthode expérimentale et aux aspects scientifiques des objets techniques, il faudrait établir et expérimenter des contenus et du matériel pédagogique gradué en fonction des diverses opérations mentales qu'ils exigent. Le matériel en cause devrait susciter, s'il y a lieu, la confrontation avec les représentations initiales et les modes de raisonnement de l'élève.

En s'inspirant des résultats des études et recherches sur le diagnostic médical, il conviendrait de mener des études qui détermineraient les facteurs principaux de la capacité d'effectuer concrètement des diagnostics de pannes dans diverses circonstances.

Dans un domaine similaire, il faudrait aussi établir quelles sont les habiletés requises pour diagnostiquer les causes des problèmes auxquels peuvent être confrontés des ouvriers spécialisés dans un cadre de gestion participative. Il ne faudrait pas oublier dans ces études que la difficulté de la tâche pourrait être amoindrie par le matériel utilisé, par exemple le diagramme causes-effet du professeur Ishikawa.

Il conviendrait aussi d'étudier en particulier les relations qui existent entre la capacité de résoudre des problèmes et la maîtrise des savoirs liés à la solution de ceux-ci. Des recherches devraient aussi être menées sur les méthodes et procédés les plus aptes à favoriser la maîtrise de la démarche expérimentale dans l'exercice des divers métiers.

L'importance que semble revêtir la démarche expérimentale aussi bien dans le processus de compréhension des objets techniques que dans l'initiation au diagnostic et à la solution de problèmes de gestion ne doit pas faire oublier que les élèves ne peuvent pas tout redécouvrir. Si ceux-ci sont suffisamment motivés et capables de saisir notions et principes abstraits dans leurs relations avec le réel, on pourra recourir avec profit aux exposés "magistraux", étayés par exemple d'aides audio-visuelles.

De fait, rejoignant ici l'opinion de J. L. Martinand[12] exprimée aux septièmes Journées internationales d'éducation scientifique, il nous semble opportun de faire connaître aux futurs maîtres l'éventail des méthodes et procédés pédagogiques, de façon qu'ils puissent les utiliser selon les nécessités du contenu et les besoins des élèves.

---

12. Martinand J. L., En guise de présentation du thème des septièmes Journées: sciences, techniques, culture et profession in Giordan A., Martinand J. L., Education scientifique et formation professionnelle, JES 7, 1985, p. 33.

BIBLIOGRAPHIE

Association of American Medical Colleges, Charge to Working Group 2/Fundamental Skills, in Physicians for the Twenty-First Century, Journal of Medical Education, Nov. 1984, Part 2, Published as a supplement, pp. 97-134.

Association of American Medical Colleges, Physicians for the Twenty-First Century, Subgroup Report on Clinical Skills, Journal of Medical Education, Nov. 1984, Part 2 (Supplement), pp. 139-147.

Bashook P.G., A conceptual Framework for Measuring Clinical Problem Solving, Journal of Medical Education, vol. 51, February 1976, pp. 109-114.

Berner Eta S., Paradigms and Problem Solving: A Literature Review, Journal of Medical Education, Aug. 1984, pp. 625-633.

Bhaerman R.D. and Oliver L.A., Skills for the Changing Work Place - An Electronics Instructor's Guide, National Center for Research in Vocational Education, 1985, 81 p.

Bolduc G et Breton E., La formation professionnelle des jeunes en difficulté, Direction générale du développement pédagogique, Ministère de l'Éducation, Gouvernement du Québec, 1981.

Bourassa R., Le défi technologique, Montréal, Québec/Amérique, 1985, 161 p.

Braudel F., Civilisation matérielle, économie et capitalisme, XVIIIe siècle, Trois volumes, Éditions Armand Colin, 1979.

Buyse R., L'expérimentation en pédagogie, Bruxelles, Lamertin, 1935, 467 p.

Cannac Y. et la Cegos, La bataille de la compétence, Paris, Éditions Hommes et techniques, 1985, 203 p.

Canonge F. et Ducel R., La pédagogie devant le progrès technique, P.U.F., 1969, 212 p.

Chabal J., Méthodologie de la construction mécanique, Foucher, Paris, 1973, 124 p.

Chamard A., Pour une didactique de l'action technique - Définir les objectifs de formation, L'ingénieur et le technicien de l'enseignement technique, 1-4, 1976, pp. 5-10.

Chamard A., Pour une didactique de l'action technique, utiliser la notion de système, 1ère partie, L'ingénieur et le technicien de l'enseignement technique, 11-12, 1975, pp. 22-25.

Chamard A., Pour une didactique de l'action technique, utiliser la notion de système, 2e partie, L'ingénieur et le technicien de l'enseignement technique, 1-2, 1976, pp. 33-37.

Chamard A., Langelier F. et Nourrigat M., Pour une didactique de l'action technique, enseigner l'action de réparation, L'ingénieur et le technicien de l'enseignement technique, 5-6, 1977, pp. 29-34.

Chevènement J.P., Apprendre pour entreprendre, Paris, Le livre de Poche, 1985, 255 p.

Chevènement J.P., Le pari sur l'intelligence, Paris, Flammarion, 1985, 305 p.

Closset J.L., Le raisonnement séquentiel en électrocinétique, Paris, Université Paris VII, Thèse de 3e cycle, 1983, 243 p.

Couffignal L., La cibernétique, Paris, P.U.F., 1972, 4e édition, 28 p.

Crouze W.H., Mécanique automobile, McGraw-Hill, 1979, 631 p.

Dewey J., How we think - A Restatement of the relation of reflective thinking for the Education process, New-York, Heath and Company, 1933, 301 p.

Duhem P., La théorie physique, Paris, Rivière, 1914.

Elstein A.S., Shulman L.S. and others, Medical Problem Solving - An Analysis of Clinical Reasoning, Harvard University Press, 1978, 330 p.

Fourastié J., Les conditions de l'esprit scientifique, Collection "Idées", no 96 Paris, Gallimard, 1966.

Gale J., Some Cognitive Components of the Diagnostic Thinking Process, Br J. Educ. Psychol., 52, pp. 64-76, 1982.

Gériat H., Les démarches de la pensée technique, Le cours industriel, no 3, décembre 1963.

Getzels J.W., The Problem of the Problem, In New Directions for Methodology of Social and Behavioral Science: Question Framing and Response Consistancy, no II, R. Hogarth Ed. San Francisco, Jossey-Bass, 1982, pp. 37-49.

Gillet B., La connaissance du raisonnement technique, L'orientation scolaire et professionnelle, 1978, 7, no 3, pp. 251-269.

Gillet B., L'apprentissage du raisonnement technique selon Piaget, Education permanente, 61, déc. 1981, pp. 63-88.

Gillet B., Charmet P., Psychopédagogie de l'enseignement des objets techniques, Bulletin de psychologie, 1974-1975, XXVIII, 18, no 319, pp. 948-955.

Guihard L. et Séjournant S., Comment analyser la conduite de l'élève adolescent ou adulte sous l'éclairage de la théorie de l'intelligence de J. Piaget, Centre national de télé-enseignement, Vanves, 1979, 74 p.

Hörner W., Éducation technique et culture scolaire: une relation difficile. L'exemple français, Revue des sciences de l'éducation, vol. VI, no 3, aut. 1980, pp 473-486.

Joshua S., L'utilisation du schéma en électrocinétique: aspects perceptifs et aspects conceptuels. Propositions pour l'introduction de la notion de potentiel en électrocinétique, Marseilles Thèse de 3e cycle, Université de Provence, 1982.

Labonté T., L'acquisition des concepts scientifiques sous-jacents à la formation technologique dans l'enseignement professionnel au secondaire, Québec, MESSI, OGERU, 1985, 212 p.

Labonté T., Différenciation du possible et du probable et emploi des modes: contribution à l'étude du développement cognitif durant la scolarité, thèse présentée à l'université Lyon II en vue de l'obtention du doctorat de 3e cycle, Lyon 1980, 224 p. (disponible sur microfiches par l'intermédiaire de la banque EDUQ).

Labonté T., Un congrès à Chamonix, Canadian Vocational Journal, vol. 21, no 4, février 1986, pp. 6-9.

Labonté T., Psychologie du développement et enseignement des sciences à l'école secondaire et au collège, Direction de la recherche, Secteur de la planification, MEQ, 1983, 106 p. (pour microfiches, voir EDUQ, # 8370813, EDUQ 6, p. 232).

Marcon M., Objet technique et formation d'adultes, Région Rhône-Alpes, 146 p.

Martinand J.L., En guise de présentation du thème des septièmes journées: sciences, techniques, culture et profession in Giordan A., Martinand J.L., Éducation scientifique et formation professionnelle, JES 7, 1985, pp. 27-35.

Munby A.H., Qu'est-ce que la pensée scientifique? Exposé à débattre, Conseil des sciences du Canada, Ottawa, 1982.

Neufeld V.R., Implications for Education (chapter 15) in Neufeld V.R. and Norman G.R., Editors, Assessing Clinical Competence, Springer Publishing Co., 1985, pp. 297-310.

Norman G.R., Defining Competence: A Methodological Review in Neufeld V.R. and G.R. Norman, Editors, Assessing Clinical Competence, Springer Publishing Co., 1985, pp. 15-35.

Norman G.R., Implications for Research (chapter 17) in Neufeld V.R. and Norman G.R., Editors, Assessing Clinical Competence, Springer Publishing Co., 1985, pp. 330-352.

Piaget J., Inhelder B., La psychologie de l'enfant, P.U.F., 1968, 128 p.

Piaget J., Inhelder B., De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent, Paris, P.U.F., 1970, 314 p.

Postic M., Introduction à la pédagogie des enseignements techniques, Paris, Foucher, 1971, 79 p.

Pratzner F.C., Russell J.F., The Changing Work Place, Implications of Quality of Work Life for Vocational Education - Research and Development Series no 249, The National Center for Research in Vocational Education, The Ohio State University, January 1984, 89 p.

Raveleau G., Les cercles de qualité français, Paris, Entreprise moderne d'édition, 1983, 221 p.

Rosca A.L., Activités d'abstraction et de généralisation chez l'enfant, Enfance, 3, 1961, pp. 193-200 (cité par B. Gillet).

Ryan C., Allocution de Claude Ryan, ministre de l'Éducation, à la séance d'ouverture du carrefour '86 sur la formation professionnelle des jeunes et des adultes, tenu par l'Association des cadres scolaires du Québec, Québec, ministère de l'Éducation, janvier 1986, 12 p.

Rychener M.D., Expert systems for engineering design, Expert Systems, vol. 2, no 1, janvier 1985, pp. 35-44.

Simondon G., Du mode d'existence des objets techniques, Aubier, 1958, 269 p.

St-Laurent R., Fortin M., Suquet M., Vachon J.G., Mounivongs K., Tremblay B., Lapointe J., Veilleux G., Intégration de notions de sciences physiques de base au contenu technique en équipement motorisé et en hydrothermie, Chicoutimi, UQAC, rapport 4, octobre 1985, 157 p.

Turcotte P.R., Qualité de vie au travail: anti-stress et créativité, Paris et Montréal, les Éditions d'organisation et les Éditions agences d'Arc Inc., 1983, 189 p.

Vermersch P., Articulation entre pédagogie et psychologie cognitive: le point de vue du psychologue in Guihard et Séjournant, op. cit., pp. 7-9.

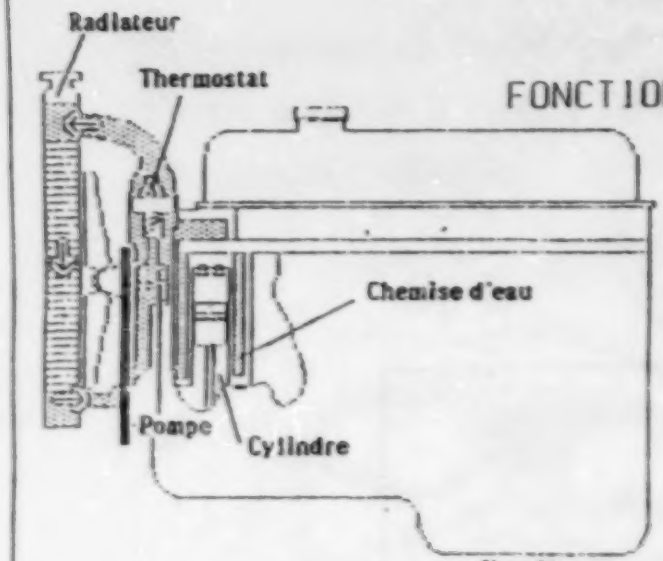
Vermersch P., Introduction à l'analyse du fonctionnement cognitif: les données génétiques in Guihard et Séjournant, op. cit., pp. 11-21, (Compte rendu rédigé par Isabelle Nguyen).

Vermersch P., Une application de la théorie opératoire de l'intelligence de J. Piaget aux problèmes de formation, Education permanente, 1979, no 51, pp 2-29.

Zee van E.H., Student conceptual difficulty with current electricity, Meeting of the American Association of physics teachers, San Francisco, 1982.

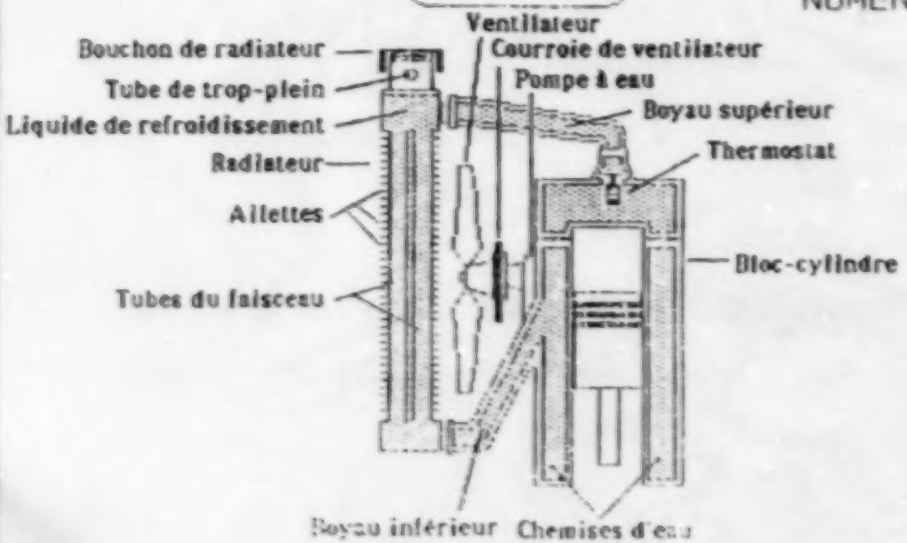
ANNEXES

SYSTEME DE REFROIDISSEMENT



FONCTION: Garder le moteur à la température idéale de fonctionnement pour toutes les vitesses du moteur et dans toutes les conditions de conduite.

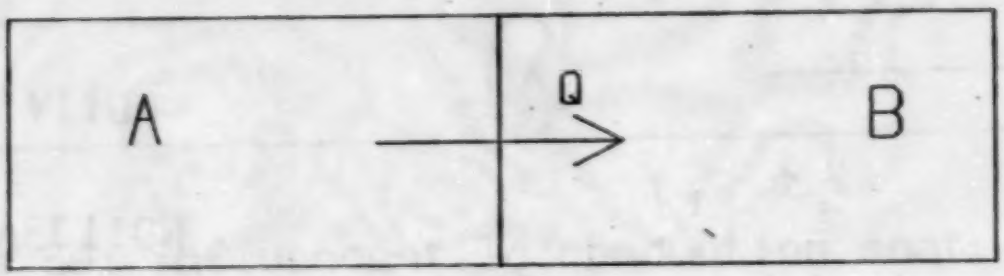
SORTES DE SYSTEMES: Air
liquide
Air - liquide



NOMENCLATURE: Pompe
Boyau
Thermostat
Chemise d'eau
Ventilateur, courroie
Radiateur
Liquide
Bouchon de radiateur.

LA CHALEUR

Une forme d'énergie qui se transfert d'un objet à un autre sous l'effet de la différence de température.



Le transfert se fait toujours du plus chaud vers le plus froid.

TRANSFERT DE LA CHALEUR

Il y a trois modes simples de transfert de la chaleur:

1- LA CONDUCTION

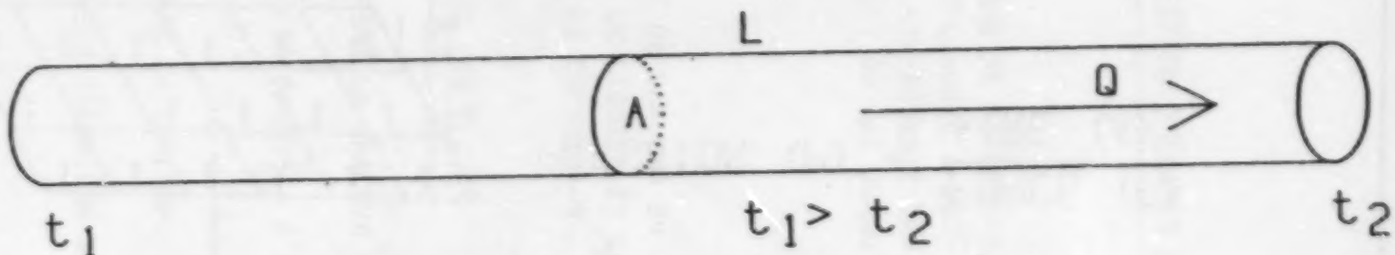
2- LA CONVECTION

3- LA RADIATION

Dans les moteurs, les radiateurs, les chauffrettes on retrouve rarement un seul mode simple mais plutôt des combinaisons des divers modes dans des proportions variées.

LA CONDUCTION DE LA CHALEUR

C'est le mode de transfert le plus courant dans un matériau solide.
Les extrémités sont maintenues à des températures fixes mais différentes.



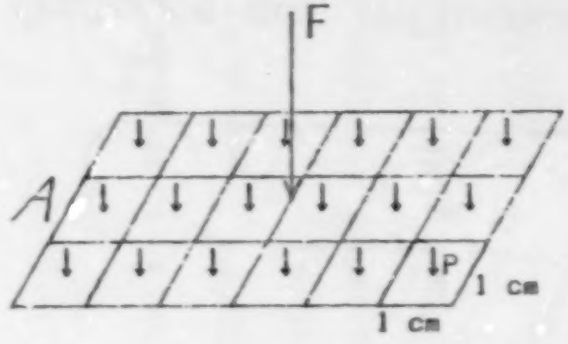
Les facteurs qui influencent la conduction sont:

- La composition du matériau: Fe, Al, Cu, verre.
- La longueur de la pièce 'L'.
- L'aire de la section 'A'.
- Les températures des extrémites 't'.

La chaleur Q se propage toujours du bout le plus chaud vers le bout le plus froid.

LA PRESSION

Pour percevoir une pression, il faut une surface A sur laquelle s'exerce une force distribuée F.
Pour la représenter, on découpe la surface pressée en petits carreaux et on montre sur chacun la force pressante qui s'y exerce.



$$\text{PRESSION (P)} = \frac{\text{FORCE (F)}}{\text{AIRE (A)}}$$

Si le découpage correspond à des carreaux d'une unité d'aire: par exemple 1 cm par 1 cm, ou 1 po par 1 po, la force s'exercant sur ce carreau est la pression.
DEFINITION: La pression P est le quotient de la force pressante totale F par la surface pressée A.

QUESTION D'EXAMEN 1

1. COMMENT LE SYSTEME DE REFROIDISSEMENT PEUT-IL MAINTENIR LES PAROIS DES CYLINDRES A 260° C, ALORS QUE LA COMBUSTION DU MELANGE AIR-ESSENCE DANS LE CYLINDRE FAIT MONTER LA TEMPERATURE DU GAZ JUSQU'A ≥ 400° C?

REPONSE A DONNER

IL Y A TRANSFERT DE CHALEUR DU AUX DIFFERENCES DE TEMPERATURES ENTRE LE LIQUIDE ET LE MELANGE AIR-ESSENCE DANS LA CHAMBRE DE COMBUSTION.

REPONSES DONNEES PAR LES ELEVES

- LE LIQUIDE RECUPERE LA CHALEUR DES PAROIS, CONDUCTION.
- LE LIQUIDE DANS LES CHEMISES D'EAU BAISSE LA TEMPERATURE DU MOTEUR.
- LE LIQUIDE ABSORBE LA CHALEUR.
- TRANSFERT D'ENERGIE THERMIQUE DE LA PAROI A L'EAU.

QUESTION D'EXAMEN 9

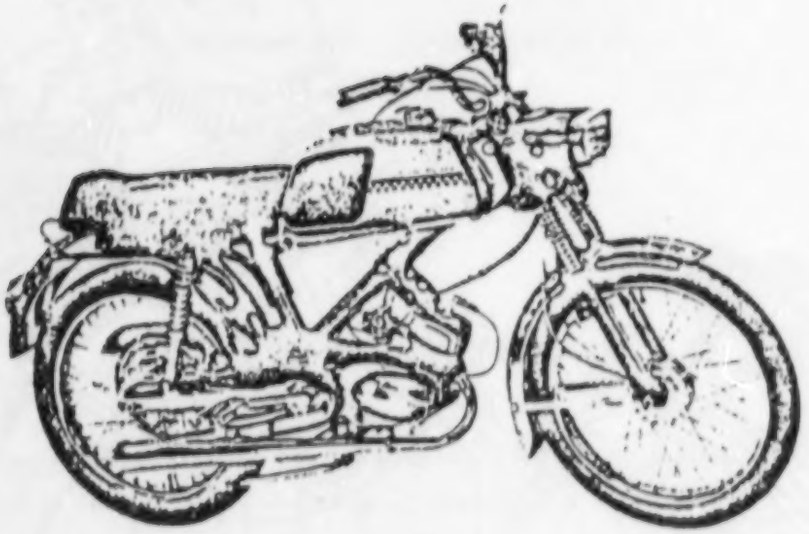
9. L'EAU DU MELANGE BOUT NORMALEMENT A 100^{0} C. PLACE DANS UN SYSTEME DE REFROIDISSEMENT, IL PEUT AVOIR UN POINT D'EBULLITION DE 127^{0} C. NOMME ET EXPLIQUE LE DISPOSITIF PAR LE LIQUIDE, CELA EST-IL POSSIBLE? APPUIE TA REPONSE A L'AIDE DE CALCULS.

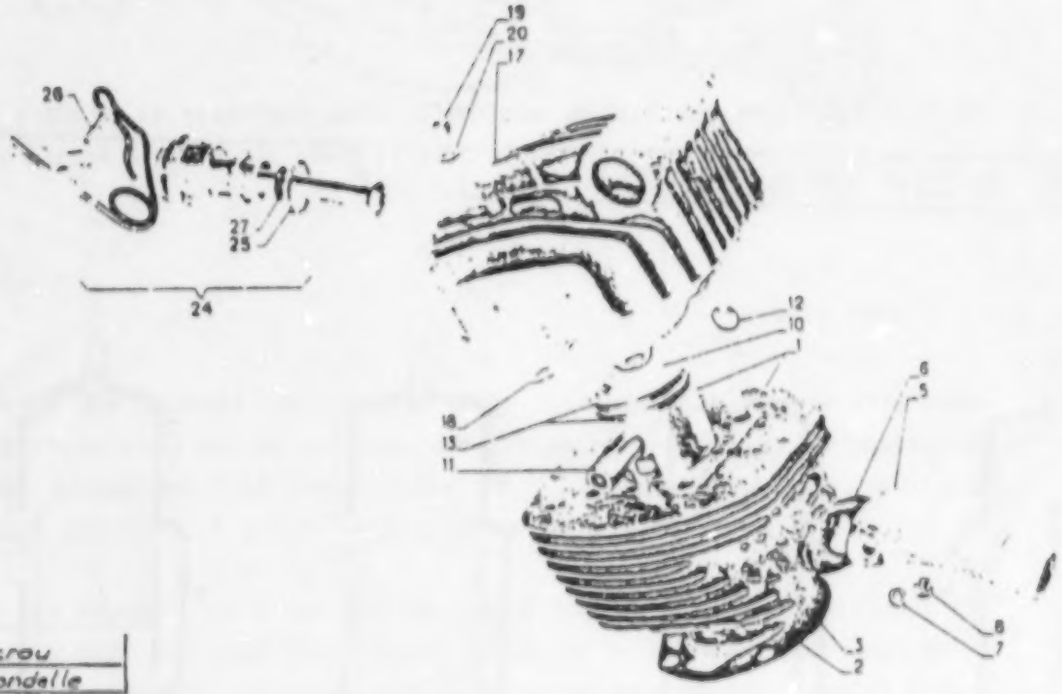
REPONSE A DONNER

A) LE BOUCHON; B) UNE SOUPAPE CALIBREE MAINTIENT UNE PRESSION DANS LE SYSTEME DE REFROIDISSEMENT ET EN LIBERE AU BESOIN PERMETTANT UNE AUGMENTATION DE TEMPERATURE; C) CALCUL: 2.4^{0} C. A CHAQUE 10 KPA.

REPONSES DES ELEVES

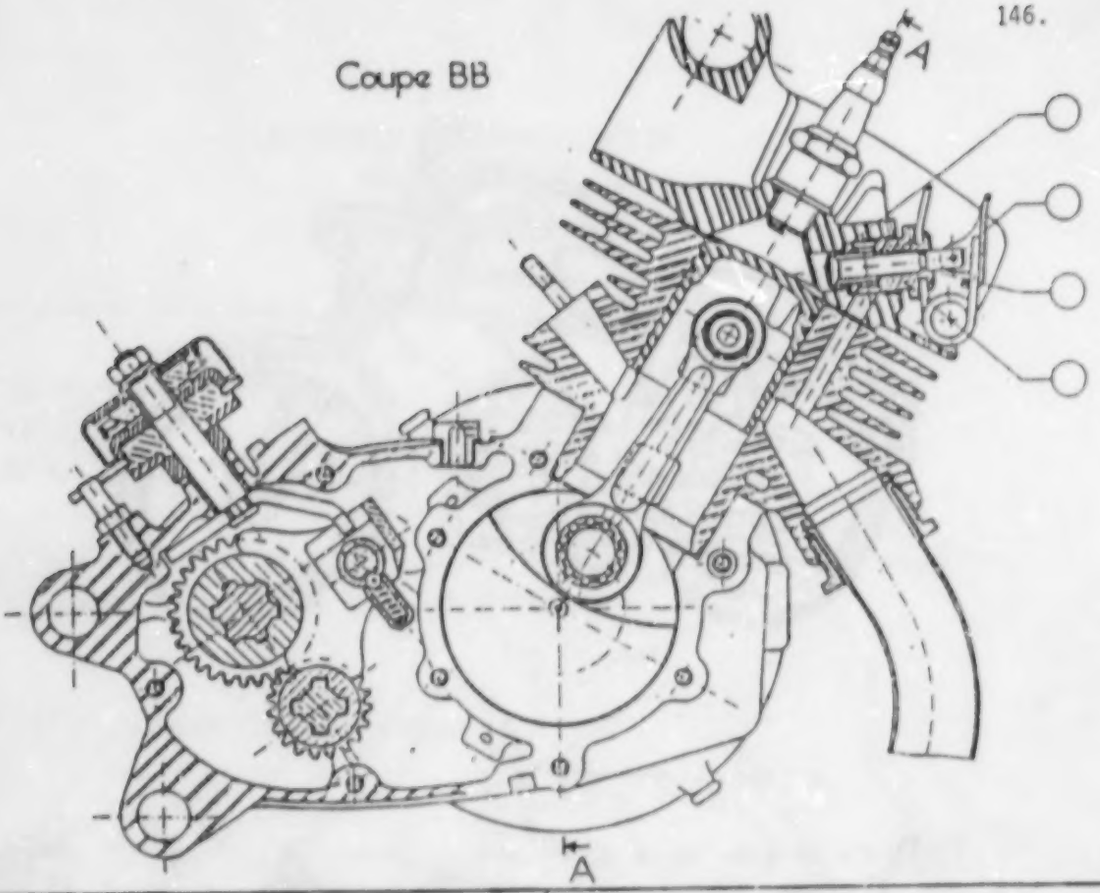
- BOUCHON DU RADIATEUR QUI CREE UNE PRESSION, 1 LB/PO^{2} = 3.25^{0} F.
- L'ANTIGEL AIDE A FAIRE BOUILLIR MOINS VITE.
- L'ANTIGEL ET LE BOUCHON.



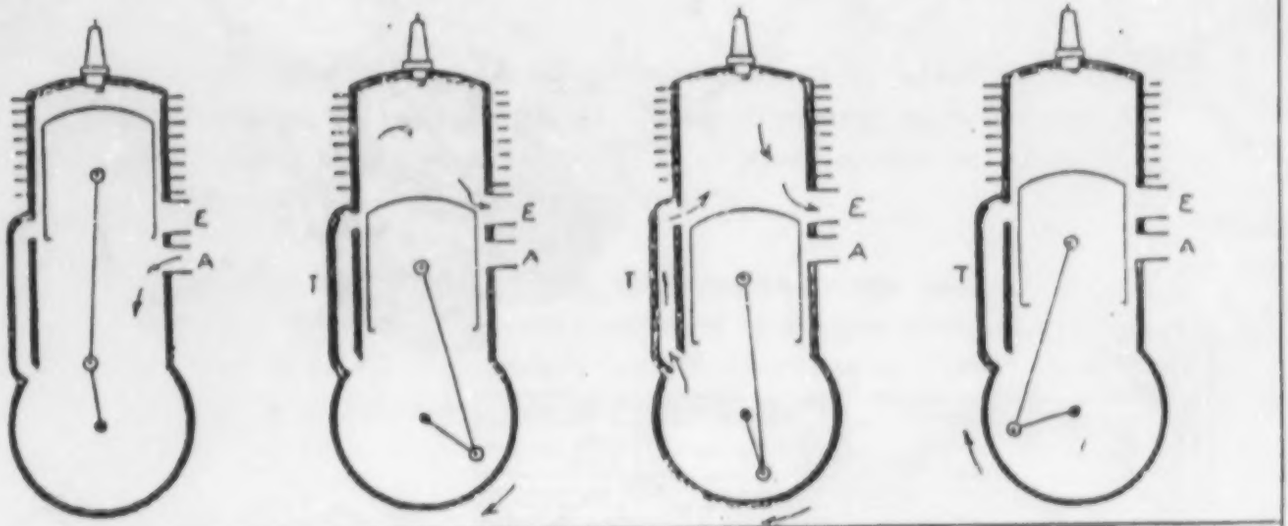


8	Ecrou						
7	Rondelle						
6	Joint						
5	Axe carburateur	13	Segment	20	Rondelle	27	Joint
3	Goujon	12	Circlips	19	Ecrou	26	Axe
2	Joint	11	Axe de piston	18	Joint	25	Joint
1	Cylindre	10	Piston complet	17	Culasse	24	Décompresseur
CYLINDRE		PISTON		CULASSE		DECOMPRESSEUR	

Coupe BB



MOTEUR 50 Cm³ SP 3L PEUGEOT



gaz comprimés sont lamnés . gaz frais sont aspi. . dans le carter	Les gaz brûlés se dé- tendent et refoulent Les gaz frais se com- priment légèrement	Les gaz brûlés achevent de se détendre Les gaz frais pénètrent le cylindre	Les gaz frais sont comprimés Une dépression apparaît dans le carter

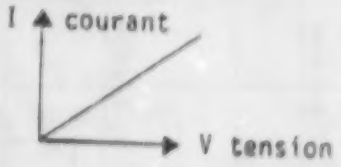
UN EXEMPLE DE HIÉRARCHISATION EN ÉLECTRONIQUE

Hiérarchie de trois objets techniques:

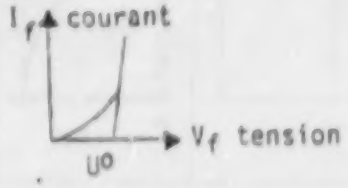
- la résistance,
- la diode,
- le transistor.

La résistance: Objet technique le plus simple; à ses bornes, le courant et la tension se conforment à la loi d'Ohm: $V = R \times I$

Caractéristique graphique:



La diode: Le graphique suivant, obtenu grâce à des mesures effectuées aux bornes d'une diode (dans le sens passant):



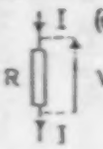
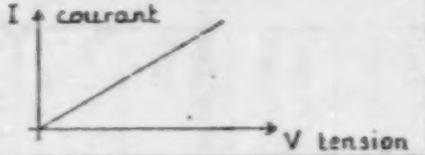
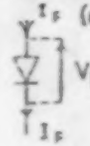
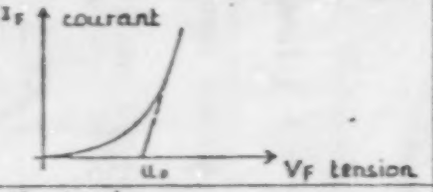
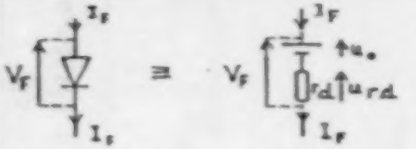
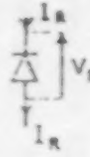
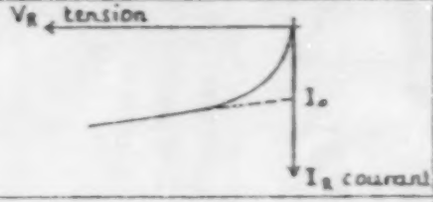
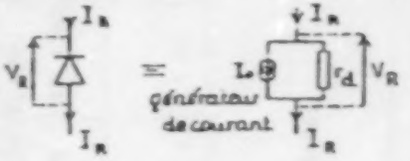
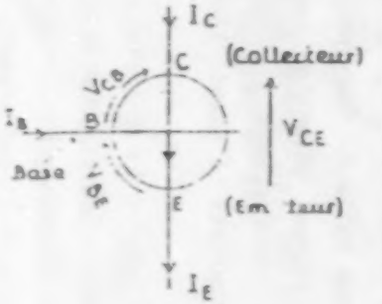
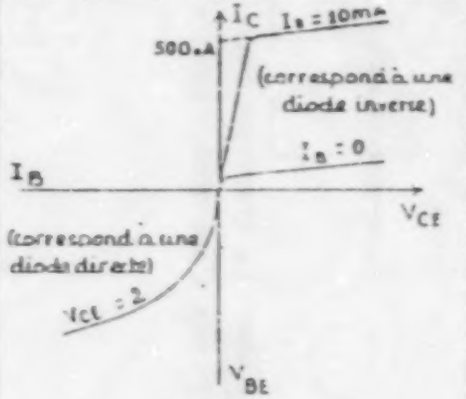
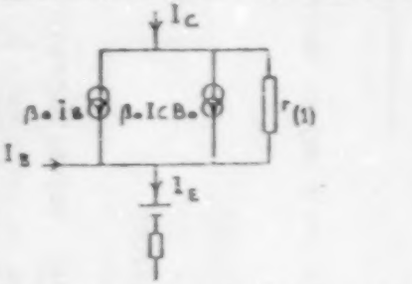
montre que celle-ci "se conduit, après le coude (à la valeur U^o), comme une résistance, puisqu'on admet que les accroissements de la tension et ceux du courant sont proportionnels"*. La diode possède en plus une autre propriété, à savoir la tension de seuil.

Le transistor: Le transistor peut être considéré comme deux diodes qui s'opposent. Ses propriétés seront celles de la diode en inverse et de la diode en direct. Il s'y ajoutera "un effet particulier d'amplification en courant dû à la juxtaposition de ces diodes"*.

---

* Gillet B., Charmet P., Psychopédagogie de l'enseignement des objets techniques. Bulletin de Psychologie, 1974-1975, XXVIII, 18, no 319, p. 949. (Les graphiques ont été tirés de l'annexe de cet article).

ANNEXE II. Hiérarchie des principaux objets techniques d'après leurs propriétés formelles

OBJET	SYMBOLE	CARACTERISTIQUE GRAPHIQUE	SCHEMA ELECTRIQUE EQUIVALENT APPROCHE
Résistance			
Diode passante (sens direct)			
Diode en inverse			
Transistor NPN (négatif-positif négatif)			

La partie supérieure est déduite du schéma de la diode inverse

La partie inférieure est déduite du schéma de la diode directe

(1) la résistance est négligée généralement dans ce schéma

(Tiré de Gillet et Charmet, Bulletin de Psychologie, 1974-1975, 18, no 319, p. 955).

LES REGISTRES DE FONCTIONNEMENT DISPONIBLES

Axe du temps

Adulte (A)	R(A)	SM(A)	PO(A)	OC(A)	OF(A)
Opératoire Formel (OF)	R(OF)	SM(OF)	PO(OF)	OC(OF)	OF_1
Opératoire Concret (OC)	R(OC)	SM(OC)	PO(OC)	OC_1	
Préopératoire (PO)	R(PO)	SM(PO)	PO_1		
Sensori-moteur (SM)	R(SM)	SM_1			
Réflexe (R)	R_1				

(Tiré de Vermersch, in Guihard et Séjournant, p. 21).

Ce tableau, présenté par Vermersch, veut illustrer la succession des stades piagétiens. On s'y réfère à un axe vertical représentant le temps. Pour chacun des stades, on trouvera à l'horizontale, dans les rectangles situés à l'extrême droite deux lettres accompagnées d'un indice, indiquant la "classe d'instruments cognitifs" que le sujet vient d'acquérir.

"Cette classe d'instruments cognitifs, qui apparaît à un moment donné, se retrouvera ensuite: on la retrouvera sur toute la hauteur de la colonne correspondante. Seulement, certaines de ses propriétés se modifieront avec l'âge: elle présentera des caractéristiques différentes selon le stade auquel le sujet sera parvenu. D'où les différents qualificatifs attribués à une même classe d'instruments, comme:

. SM(PO), registre sensori-moteur du sujet au stade préopératoire;

. SM(OC), registre sensori-moteur du sujet au stade opératoire concret;

. SM(OF), registre sensori-moteur du sujet au stade opératoire formel."*

La rangée du haut indique "les registres de fonctionnement" dont dispose l'adulte. À droite, le schéma demeure ouvert, "pour ne pas préjuger d'un arrêt de la genèse des instruments cognitifs".

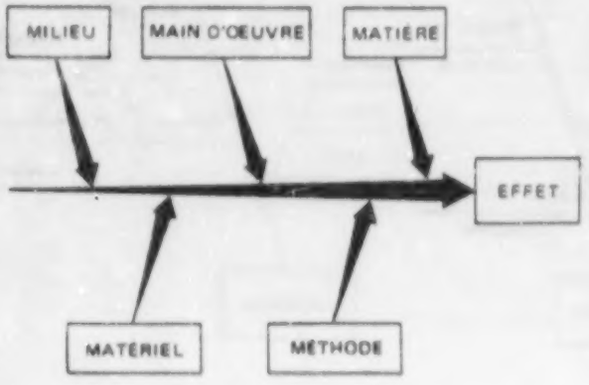
---

* Vermersch P., Articulation entre pédagogie et psychologie cognitive: le point de vue du psychologue, in Guihard et Séjournant S. (voir ref. 43).

. Le diagramme causes-effet du professeur Ishikawa

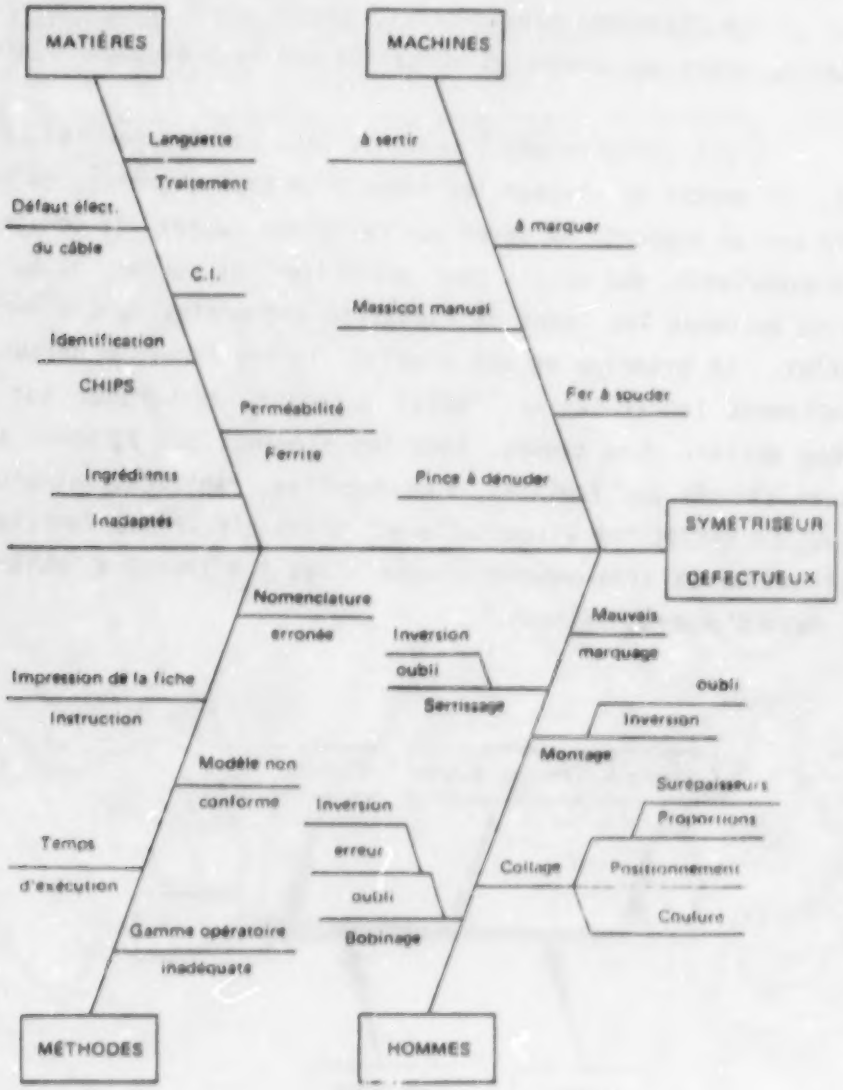
"Le diagramme causes-effet, appelé aussi diagramme en arêtes de poissson, arbre des causes et vulgarisé par le professeur Ishikawa.

C'est certainement l'outil le plus utilisé par les Cercles de qualité. Il permet de classer les idées d'un brainstorming, de réfléchir ensemble sur un support, de voter sur certaines causes, de construire des plans d'expérience, des essais pour quantifier les causes, et surtout, de mettre en évidence les liens de causalité entre plusieurs éléments d'un même effet. Le principe en est simple: le problème, le défaut, le but éventuellement (c'est-à-dire l'effet existant, recherché) est placé à l'extrême droite. Les causes, tous les éléments qui agissent sur l'effet, sont classés par familles, sous-familles, ramifications d'une sous-famille. La difficulté essentielle est d'identifier les familles: pour cela il existe un aide-mémoire simple: les 5 M (Matière, Matériel, Méthode, Main-d'oeuvre, Milieu)."



Texte et diagramme tirés de Raveleau G., Les cercles de qualité français, Paris, Entreprise moderne d'édition, 1983, p. 164.

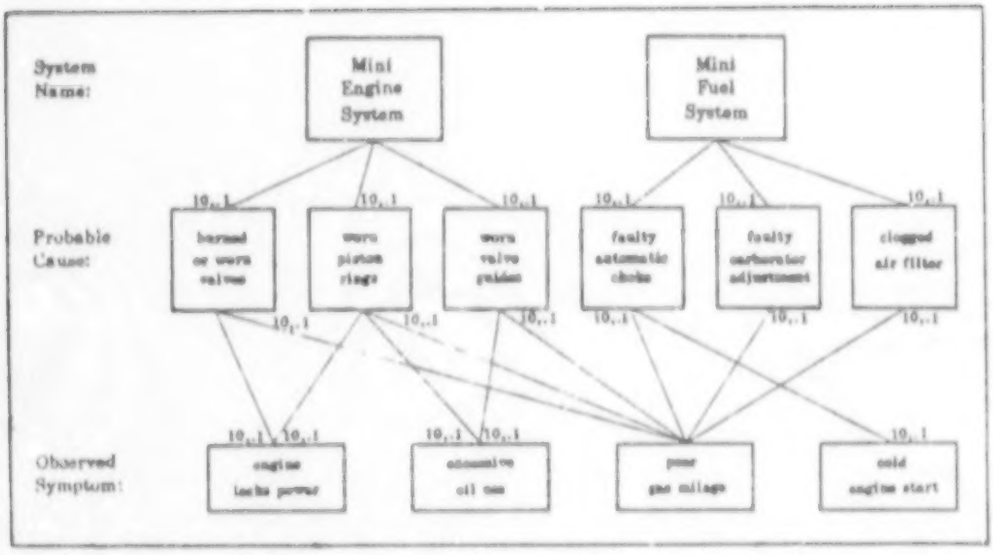
. Exemple de l'utilisation d'un diagramme causes-effet



"Prenons l'exemple d'un Cercle de Qualité chez Thomson. L'objectif de ce CQ est de réduire de 5 à 0,5 % le taux de défauts du transfo-symétriseur enregistré au contrôle final de l'atelier. La première étape sera de rechercher toutes les causes possibles de défauts et de les organiser à l'aide d'un diagramme Causes-Effet (...) À la suite

de ce diagramme, la démarche consistera à analyser les causes, sélectionner les plus fréquentes, rechercher des solutions ... etc. Signalons que ce cercle, après l'étude complète et la mise en oeuvre des solutions a réussi à éliminer 90,3 % des défauts, c'est-à-dire à remener le taux à moins de 0,5, ce qui était l'objectif au départ (communiqué par Thomson CSF, Unité de Laval). (Texte et diagramme tirés de Raveleau, Gilbert, op. cit., pp. 164-165).

Composantes d'un système-expert



Tiré de Rychener M. D., Expert systems for engineering design, Expert Systems, vol. 2, no. 1, janvier 1985, p. 33.

Les schémas de ce genre peuvent être utilisés, par exemple, pour relier les symptômes observés à leurs causes probables.

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Enseignement supérieur
et de la Science
**Direction générale de l'enseignement
et de la recherche universitaires**

7731-0112
68-867-0238